

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

До захисту допущено:

В.о.завідувача кафедри

_____ Олександр
ОХРІМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи та
технології формоутворення деталей»**

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: «Фреза кінцева для оброблення композиційних матеріалів»

Виконав (-ла):

студент 4 курсу, групи МІ-61

Лохман Денис Ігорович _____

Керівник:

Доцент, кандидат технічних наук

Івановський Олексій Анатолійович _____

Рецензент:

Доцент, кандидат технічних наук

Івановський Олексій Анатолійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	При мітка
	A4		Завдання на дипломний проект	2	
	A4	ДП 6108.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	69	
	A1	ДП 6108.01.000 ТК	Аналіз існуючих конструкцій та рішень	1	
	A1	ДП 6108.02.000 ТК	Конструкція інструменту	1	
	A3	ДП 6108.03.000 ТК	Технологія виготовлення	1	
	A1	ДП 6108.04.000 ТК	Спеціальна складова	1	
	A1	ДП 6108.05.000 ТК	Пристосування для шліфування пластин	1	
	A1	ДП 6108.06.000 ТК	Виготовлення на верстаті із ЧПК. Програма обробки	1	
				ДП 6108. 00.000	
		ПІБ	Підп. Дата		
Розроб.	Лохман Д.І.			Відомість дипломного проекту	Лист Листів
Керівн.	Івановський О.А.				1 1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КМ Гр. МІ-61
Н/контр.					
Зав.каф.	Охріменко О.А.				

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Фреза кінцева для оброблення композиційних
матеріалів»

Київ – 2020 року

Анотація

Метою мого бакалаврського проекту було створення кінцевої фрези для чорнової обробки композиційних матеріалів на верстаті із ЧПК. В роботі приведено аналіз існуючих конструкцій інструментів, в результаті якого було прийнято рішення проектувати фрезу із напайними пластинками та шевронним розташуванням пластин. Це дозволить використання алмазно-твердосплавних пластин в якості матеріалу ріжучої частини, а також використання більш дешевих металів для виготовлення корпусу. Розроблена конструкція корпусу фрези та перевірка на кручення за допомогою Fusion 360. Технологічний процес виготовлення обраний завдяки методиці побудови графів потужностей. Виконаний розрахунок припусків для обробки хвостовика корпусу. Розроблена керуюча програма виготовлення корпусу фрези для верстату з ЧПК.

Ключові слова: кінцева фреза, композиційні матеріали, збірна конструкція, АТП.

Abstract

The purpose of my bachelor's project was to create a final cutter for roughing composite materials on a CNC machine. The paper presents an analysis of the existing tool designs, as a result of which it was decided to design a cutter with soldering plates and a chevron arrangement of plates. This will allow the use of diamond-carbide inserts as the material of the cutting part, as well as the use of cheaper metals for the manufacture of the housing. The design of the case of a mill and check on torsion by means of Fusion 360 is developed. The technological process of manufacturing is chosen thanks to a technique of construction of graphs of capacities. The calculation of allowances for processing the shank of the body. The control program of the manufacturing of the case of a mill for the CNC machine is developed.

Keywords: end mill composite material, assembled construction, PCB

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи та технології формоутворення деталей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Олександр ОХРИМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Лохман Денис Ігорович

1. Тема проекту «Фреза кінцева для оброблення композиційних матеріалів», керівник проекту Івановський Олексій Анатолійович, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «20» травня 2020 р. №1120-с
2. Термін подання студентом проекту – 10 червня 2020 року.
3. Вихідні дані до проекту
4. Зміст пояснювальної записки
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)
6. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз існуючих конструкцій та рішень	20.03.2020	
2	Проектування інструменту	10.04.2020	
3	Розробка технології виготовлення	20.04.2020	
4	Синтез спеціальної складової проєкту	10.05.2020	
5	Проектування пристосування для шліфування пластин	16.05.2020	
6	Розробка керуючої програми для верстату із ЧПК.		
7	Здача проєкту на перевірку	10.06.2020	

Студент

Денис Лохман

Керівник

Олексій Івановський

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА УМОВ РОБОТИ ІНСТРУМЕНТУ	8
1.1 Фреза із зустрічно-направленими різальними кромками	8
1.2 Суцільні фрези із гвинтовою канавкою	9
1.3 Фреза із прямими кромками та напайними пластинами	11
1.4 Висновки розділу:	12
2 ПРОЕКТУВАННЯ ФРЕЗИ З НАПАЙНИМИ ПЛАСТИНАМИ	13
2.1 Різальні кромки	13
2.2 Корпус інструменту	15
2.3 Перевірка корпусу інструмента на міцність	17
3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	20
3.1 Розробка Технологічного процесу для обробки пластинки ...	20
3.1.1 Розробка оптимального маршруту технологічного процесу	20
3.1.2 Побудова графу	21
3.1.3 Визначення потужності маршруту	23
3.1.4 Висновок	24
3.2 Синтез технологічного процесу виготовлення корпусу фрези	25
3.2.1 Критерії потужності технологічного процесу виготовлення корпусу	25
3.2.2. Побудова графу	26
3.2.3. Визначення потужності технологічного процесу	27
3.2.4 Висновок	29
3.3 Розробка маршруту технології виготовлення	30
3.4 Розрахунок припсків на механічну обробку хвостовика	32

3.5 Розрахунок режимів різання	36
4 РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛАСТИНОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ	39
4.1 Визначення характеристик матеріала деталі, що досліджується	39
4.2 Характеристика контактів з іншими деталями	40
4.3 Визначення навантажень на деталь	42
4.4 Статичний розрахунок.....	42
5 КОНСТРУКТОРСЬКА СКЛАДОВА.....	47
5.1 Розрахунок сил затиску	50
5.2 Розрахунок похибки базування	53
6 ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЕРСТАТІ ІЗ ЧПК. ПРОГРАМА ОБРОБКИ	54
6.1 Операція підрізання торця	55
6.2 Операція чорнового точіння деталі по контуру	56
6.3 Чистове точіння кдеталі по контуру	56
6.4 Операція відрізання деталі.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	61
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

Складно не помітити світову тенденцію у переході від металів та сплавів до альтернативних - композиційних матеріалів. Їх часто використовують при виготовленні сучасних літальних апаратів, автомобільній галузі, військовій та сировинній промисловості, міській а промисловій інфраструктурі. Зазвичай їх виготовляють на основі волокон скла та вуглецю. Їх використання дуже різноманітне та охоплю багато галузей. Перевагами є низька питома вага, стійкість до агресивних середовищ, вогнетривкість, довговічність та міцність. Композиційні армовані матеріали можна отримати багатьма способами та із різною структурою.

Досить поширеним є пошарове вирощування, вакуумне формування та спікання листів та фасонних поверхонь. Часто можна зустріти комбінації армуючих волокон – карбон-кевлар. Такі сполуки роблять для отримання необхідних фізичних властивостей. Наприклад, карбон- дуже міцний на розтяг та схильний до руйнування під час згину, кевлар - навпаки, дуже гнучкий. Матеріал та його варіації є перспективними, а отже, існує потреба в їх обробці та підвищенні якості оброблених поверхонь. Матеріал, із яким я буду працювати належить до «Зеленої групи матеріалів» за міжнародною класифікацією DIN/ISO 513. Він отриманий пултрузійним методом. Цей метод полягає у тому, що пучок волокон у постійній та однаковій кількості проходить через ванну із поліефірною смолою, після чого потрапляє у формоутворюючий інструмент – фільтеру. Фільтера умовно розділена на декілька секцій, на кожній із яких встановлені нагрівальні елементи та датчики температури. Така специфіка пояснюється тим, що смола, котру використовують – термореактивна та її кристалізація відбувається безпосередньо у фільтері, а сама реакція повинна бути контрольованою. Після проходження через фільтеру, волокна вже приймають форму таку, як і фільтера та отримується профіль. Це високонаповнений матеріал із відомим постійним поперечним перерізом та структурою. Компонентами для його

виготовлення є термореактивна поліефірна смола, скляний ровінг, мультиаксіальний мат на зовнішніх поверхнях. Результатом цього процесу є склопластиковий профіль, форма якого задається і відповідає профілю формоутворюючого інструменту-фільєри.

Обробка таких матеріалів не є простою. Існують досить багато проблем та особливостей. Першою є неоднорідна твердість. Конструкційний профіль із композиту має досить передбачувану, проте неоднорідну структуру. На шляху різального інструменту буде дві основні перешкоди – досить тверда та крихка смола та тверда волокниста направлена структура. Особливості обробки: під час різання більшість тепла передається на інструмент, оскільки теплопровідність стружки композиту дуже низька порівняно із металом. В такому випадку класичний метод зниження температури – подача ЗОР використовувати неможливо. Є дві причини – незахищеність обробленої поверхні від потрапляння вологи між шарами матеріалу та складність відводу стружки, оскільки змочений пил від смоли та скла буде пакетуватись у стружковій канавці, зоні обробки та на станині верстату. З іншого боку, стружка має малу вагу та дуже малу дисперсність, тому під час обробки є необхідним відвід та фільтрація відходів із зони різання.

Типовими дефектами при обробці композиційних матеріалів є:

- Розшарування
- Сколи кромки
- Термічна деструкція
- Витягування волокон
- Міжшарові тріщини
- Розпушування (ворсистість)

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА УМОВ РОБОТИ ІНСТРУМЕНТУ

Задача полягає в тому, щоб розробити на базі існуючих технологій та успішних елементів конструкцій нову, більш продуктивну фрезу для обробки композиційного профілю. Розглянемо існуючі конструкції фрез та геометрії різальної частини.

1.1 Фреза із зустрічно-направленими різальними кромками

Конструкція із зустрічно-направленими зубами або із шевронною формою стружкової канавки є досить поширеною під час виготовлення деталей із листового композиційного матеріалу (рисунок 1.1).

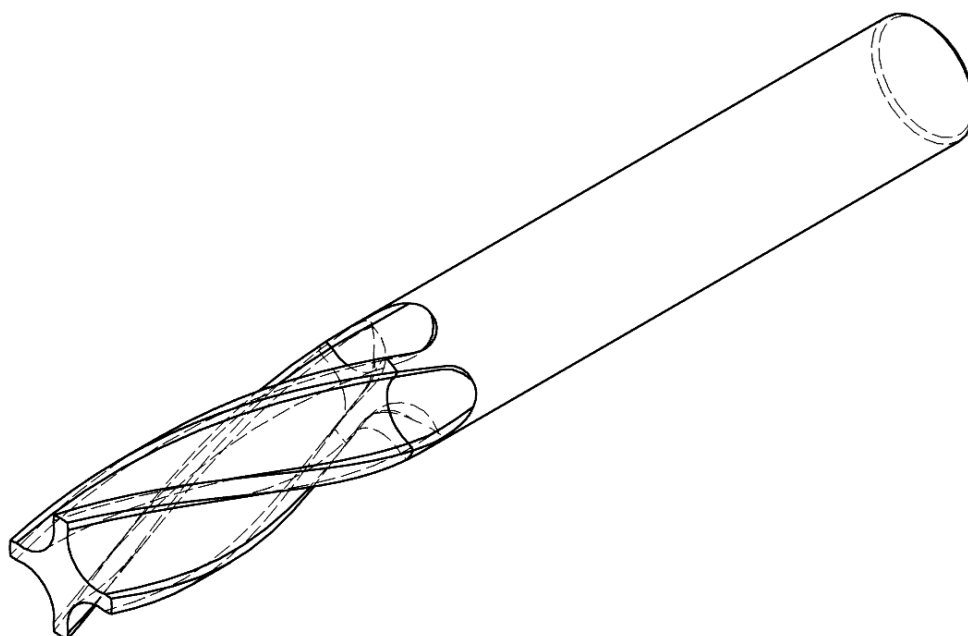


Рисунок 1.1 Фреза із «шевронною» кромкою

Особливістю є те, що зазвичай ці фрези використовують для листового матеріалу та контурної його обробки. В якості матеріалу різальної частини використовують карбід вольфраму, проте є випадки, коли його лише напильюють для утворення твердого поверхневого шару. Щодо гвинтових канавок – то вони можуть бути розташовані під різними кутами. Суть шевронної гвинтової канавки полягає в тому, що при різанні виникають

осьові сили, що стискають лист матеріалу та значно зменшують вірогідність розшарування. Також існують приклади, коли задня поверхня циліндричної різальної частини виконується у вигляді напівкруга. Існують також конструкції, в яких з'єднання двох канавок «шеврона» відбувається не на однаковій висоті. Оскільки в конструкції цієї фрези передбачена «шевронна» конструкція гвинтової канавки, то слід вважати, що ця фреза створювалась для одночасної їх роботи.

Перевагами такого інструменту є:

- Низька вірогідність розшарування
- Висока якість обробленої поверхні
- Висока швидкість обробки
- Висока площа контакту інструмента із оброблюваною поверхнею
- Безперервність різальних кромek

Недоліками є:

- Складність геометрії та її виготовлення
- Неможливість відновлення працездатності інструмента
- Можливе пакетування стружки в стружковій канавці

1.2 Суцільні фрези із гвинтовою канавкою

Такі фрези найпопулярніші, оскільки їх виготовлення не є проблематичним. Фрези із гвинтовими канавками зазвичай мають від 2 до 8 стружкових канавок (рисунок 1.2).

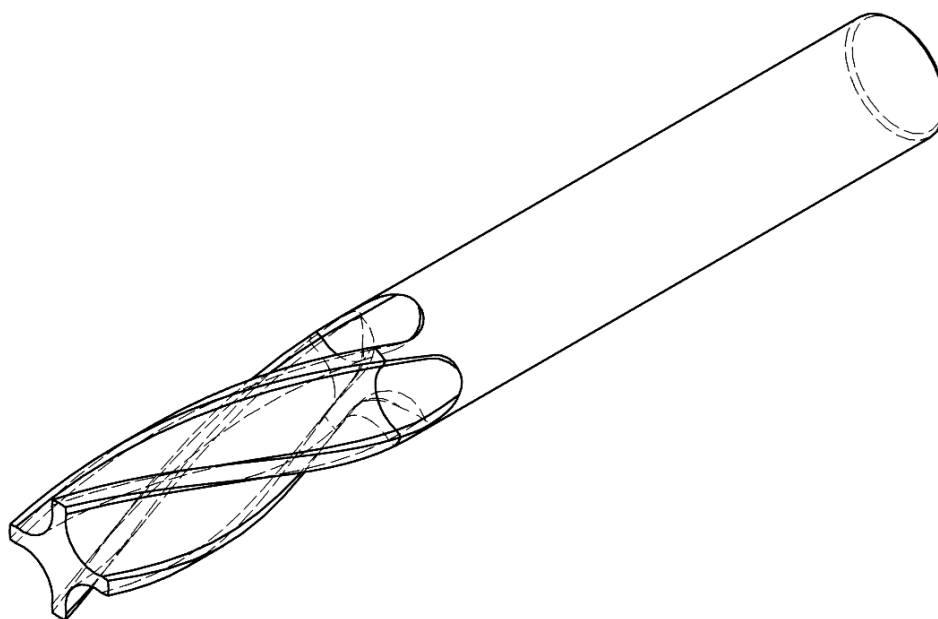


Рисунок 1.2 - Суцільна фреза із гвинтовою канавкою

Інструмент із гвинтовими канавками найпопулярніший. Схожими користуються під час обробки деревини та металів, проте цей інструмент має декілька відмінностей.

Фрези для композиту повинні бути гострими, оскільки повинні зрізати скловолокно, а не затирати, виривати та підламувати його. Це важливо, оскільки одним із головних критеріїв оцінки якості обробленої поверхні є ворсистість, яку можливо зменшити досягаючи ефекту «гоління» без затирання по задній поверхні.

В даному випадку це зварна конструкція. Різальну частину виготовляють твердосплавною або із алюмонітрид титановим напиленням та завдяки методу зварювання тертям, приєднують до хвостовика із більш дешевої сталі. Також існують суцільні конструкції із твердих сплавів. Такі фрези є дорожчими, проте це дозволяє виготовляти інструмент із малим радіусом та складною геометрією. Одним із недоліків суцільних фрез є крихкість – часто можна зустріти інструмент, що зламався на межі хвостовика та різальної частини.

Переваги:

- Можливість відновлення працездатності

- Гарний відвід стружки

1.3 Фреза із прямими кромками та напайними пластинами

Фрези із прямими канавками від Sanvik Coromant значно простіші за виготовленням ніж із гвинтовими. Це пов'язано із кількістю необхідних осей верстата чи пристосування для формоутворення такого профілю (рисунок 1.3).

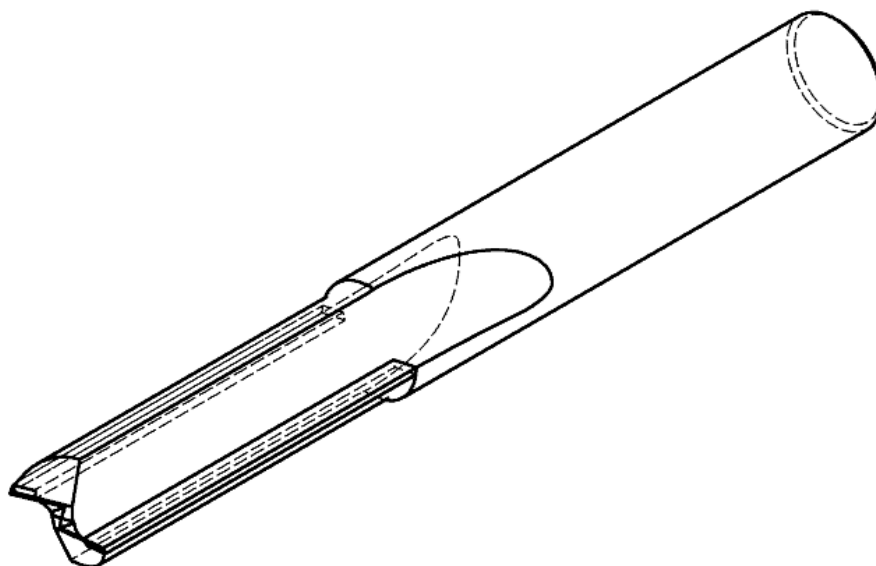


Рисунок 1.3 Фреза із напайними пластинками

Найбільш актуальним для мене елементом цієї фрези є її різальна частина. Різальну здатність їй забезпечують дві твердосплавні пластини. Вони припаяні до корпусу із конструкційної сталі. Форма різальних кромки - пряма. Фреза має два отвори для подачі стисненого повітря. Такий метод охолодження досить незручний, оскільки стружка у вигляді пилу буде хаотично розпилюватись та заважати роботі. Однак із цією проблемою вже частково справляються встановлюючи спеціальні пиłosоси та пиловловлювачі.

1.4 Висновки розділу:

При обробці композитів найчастіше використовують такі типи фрезерування:

- Обробка поверхонь торцевими фрезами;
- Контурна обробка кромки;
- Орбітальне фрезерування;
- Плунжерне фрезерування;
- Фрезерування пазів та карманів.

Обробка композиційних матеріалів супроводжується нагріванням інструменту. Це явище виникає і при обробці титану. Оскільки при обробці металів значна кількість теплоти передається стружці, а композит має дуже малу теплопровідність, то вона передається інструменту. Це погано впливає на його стійкість.

Виходячи із існуючих рішень в обробці композиційних матеріалів можна зробити висновок, що інструмент повинен мати такі риси:

- Температурна стійкість;
- Гострі ріжучі кромки;
- Можливість зміни різальних елементів;
- Високу твердість;
- Геометрію, що сприяє стисненню шарів матеріалу під час обробки.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ФРЕЗИ З НАПАЙНИМИ ПЛАСТИНАМИ

Для проектування інструменту перш за все був виконаний аналіз існуючого інструменту та їх синтез у один новий. Фреза призначена для чорнової обробки композиційного матеріалу, тому було вирішено робити її збірною, використовуючи напайні пластини.

2.1 Різальні кромки

Я проектую фрезу із різнонаправленими різальними кромками, що будуть імітувати роботу фрези із шевронною різальною кромкою. Це дозволить уникнути або мінімізувати міжшарові тріщини, деламінацію та знизити вірогідність ворсистості на верхньому та нижньому шарах матеріалу. Під час обробки буде виникати явище компресії матеріалу, що значно підвищить якість обробки. Оскільки відбудуватиметься обробка квадратного композиційного профілю, то її умовно можна спростити до обробки листа, оскільки одночасно оброблюватиметься лише однотипні пласкі фігури.

Фреза матиме торцеві зуби, що дасть можливість врізання в матеріал та обробки поверхонь. Повноцінне врізання в матеріал торцевими зубами не буде доступним, оскільки в технічному завданні вказано, що обробка буде відбуватись по існуючому отвору 10 мм або без врізання торцем. При спробах врізання в суцільний матеріал буде утворюватись необроблений циліндр, що знаходиться між двома торцевими зубами та виникне тертя між корпусом та матеріалом, що є негативним явищем, оскільки корпус фрези не розрахований на високі температури. Головну різальну кромку будуть утворювати 2 пластинки, кожна з яких нахилена під кутом. Перша пластина має дві функції – забезпечувати різання торцевою частиною, а також обробка нижньої частини матеріалу та стискання її головною різальною кромкою за рахунок кута нахилу до осі обертання фрези. Цей кут дорівнює

10о. Друга – є продовженням головної ріжучої кромки, що доповнює явище компресії матеріалу та забезпечує якість обробки верхнього ламінованого шару матеріалу, проте нахилена в інший бік під кутом 15о.

Різальні елементи фрези - напайні. В якості пластинок можливо використовувати твердосплавні та алмазно-твердосплавними пластини (АТП). Було обрано другий варіант, виходячи із міркувань температурної та зносостійкості. У алмаза вона вища приблизно в два рази ніж у вольфрам-кобальтових сплавів, наприклад, ВК8. Часто застосовують двошарові пластини, що мають поверхневий алмазний шар та сталеву або твердосплавну підкладку. Пластини із кіборіту відрізняються високою твердістю, термостійкістю, механічною міцністю і високими електроізоляційними властивостями. Розробивши конструкцію та технологію виготовлення інструменту стало зрозумілим, що використовуючи готові пластинки (рисунок 2.1), доведеться надавати перевагу поверхні, яка буде із алмазним шаром. Тож алмазний шар збережеться лише на передній поверхні. алмазний шар збережеться лише на передній поверхні.

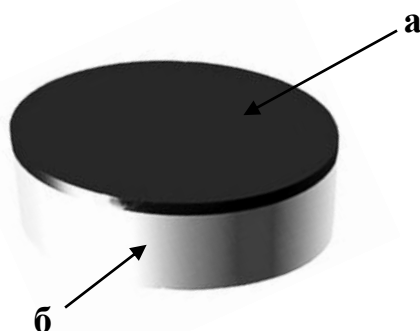


Рисунок 2.1 – АТП: а – алмазний шар, б – твердий сплав

Її будуть обробляти зберігаючи алмазний шар, використовуючи спеціальну оснастку. Передня поверхня залишиться пласка, а передній, задній кут та кут нахилу головної ріжучої кромки буде утворюватись

завдяки шліфуванню та електро-іскровій обробці. Після обробки пластинка набуває вигляду (рисунок 2.2)

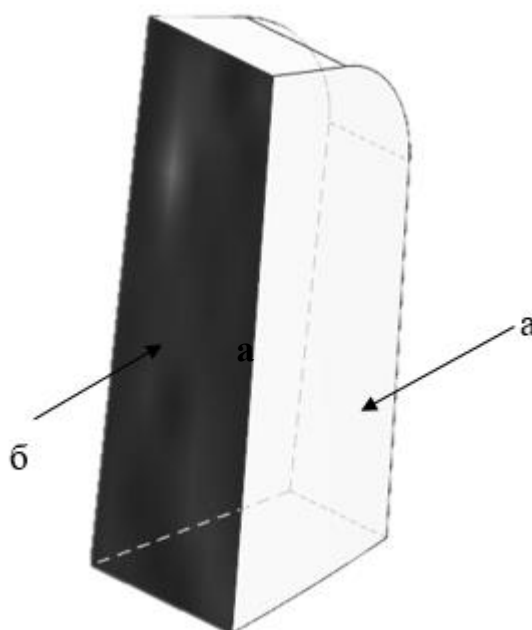


Рисунок 2.2 – Оброблена пластинка: а – твердий сплав, б – алмазний шар

2.2 Корпус інструменту

Важливим геометричним параметром корпусу є правильність позиціонування пазів під пластинки. Форма стружкової канавки – гвинтова, ліва. Хвостовик – циліндричний, сумісний із цангою ER32 12 мм.

Корпус збірного інструмента зазвичай виготовляють із конструкційної сталі. В моєму випадку буде передбачений гарт, що допоможе запобігти зносу.

Матеріал корпусу інструмента виготовлено із Сталі 45Г. Це легована конструкційна сталь марганцевистої групи, що часто використовується для виготовлення колінчастих та карданних валів, шатунів, осей, зубчастих коліс тощо. Використання цього матеріалу у складних циклічнонавантажених умовах, а також відносно невисоку вартість

доводить доцільність його використання для виготовлення корпусу фрези, оскільки умови роботи схожі.

Характеристика матеріалу корпусу деталі (табл. 2.1, 2.2)

Таблиця 2.1 - Хімічний склад Сталі 45Г [27, стр.140]

C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %	Cr, %	Cu, %	Fe, %
0,42 - 0,5	0,17-0,37	0,7-1	До 0,3	До 0,035	До 0,035	До 0,03	До 0,03	+97

Таблиця 2.2 - Механічні властивості Сталі 45Г [27, стр.140]

HB	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 %	ψ %	KCU (кДж / м ²)
302	810	950	14	52	68

Виходячи із зібраних даних, можна спроектувати корпус фрези, що матиме вигляд (рисунок 2.3):

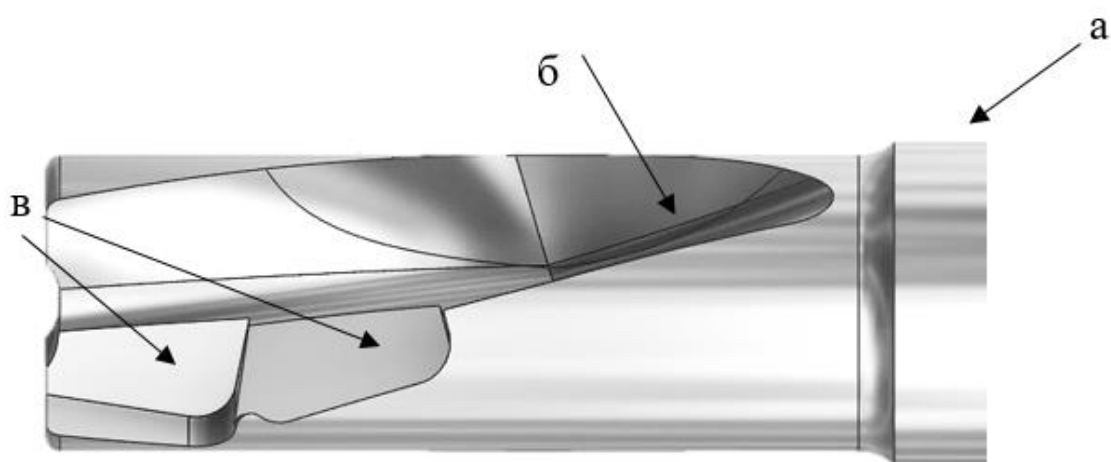


Рисунок 2.3 - Корпус фрези: а - хвостовик, б – гвинтова канавка, в – пази під пластинки

Складання фрези відбувається шляхом припаювання пластин до корпусу (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 - Фреза у зборі

2.3 Перевірка корпусу інструмента на міцність

Виконання цього розділу будемо робити за допомогою CAD – системи Autodesk Inventor HSM.

Для цього створимо нове налаштування (Рисунок 2.5)

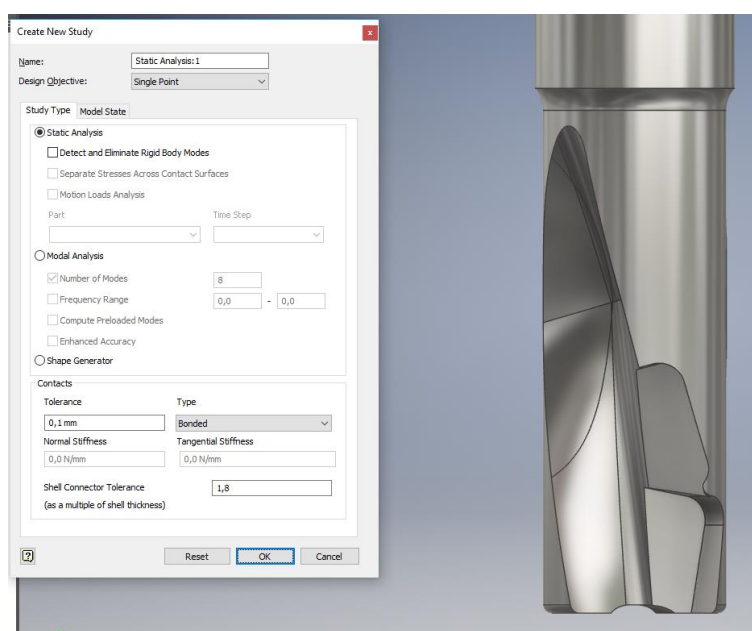


Рисунок 2.5 - Налаштування для проведення дослідження

Після цього необхідно задати поверхню, якою деталь буде фіксуватись (рисунок 2.6). В нашому випадку – це циліндричний хвостовик.



Рисунок 2.6 – Фіксація заготовки

Після цього необхідно імітувати роботу інструмента, під час якої він піддається крученню. Тому задаємо крутний момент, що виникає під час роботи інструменту але у протилежному напрямку (рисунок 2.7).

Фактично, перевірка йде на міцність серцевини інструменту. Слід зазначити, що раніше, під час створення 3-Д моделі інструменту був обраний матеріал AISI1045, що є закордонним аналогом Сталі 45Г.

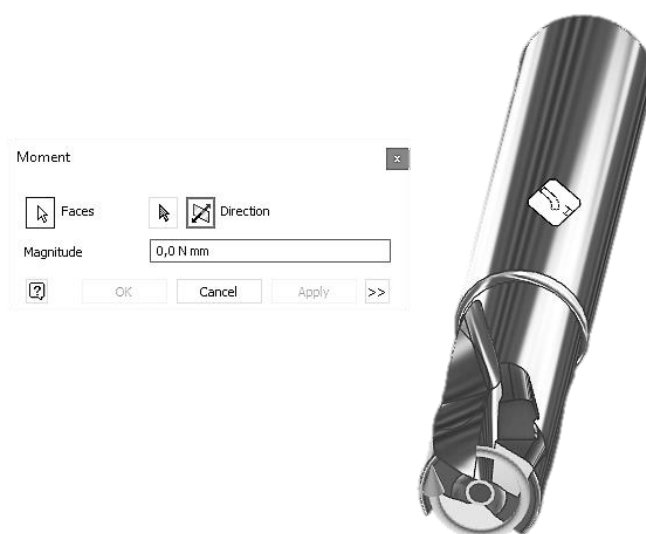


Рисунок 2.7 – прикладення крутного моменту

Результати, отримані в результаті симуляції, показують, що запасу міцності корпусу інструменту достатньо для її роботи у заданих умовах (рисунок 2.8)

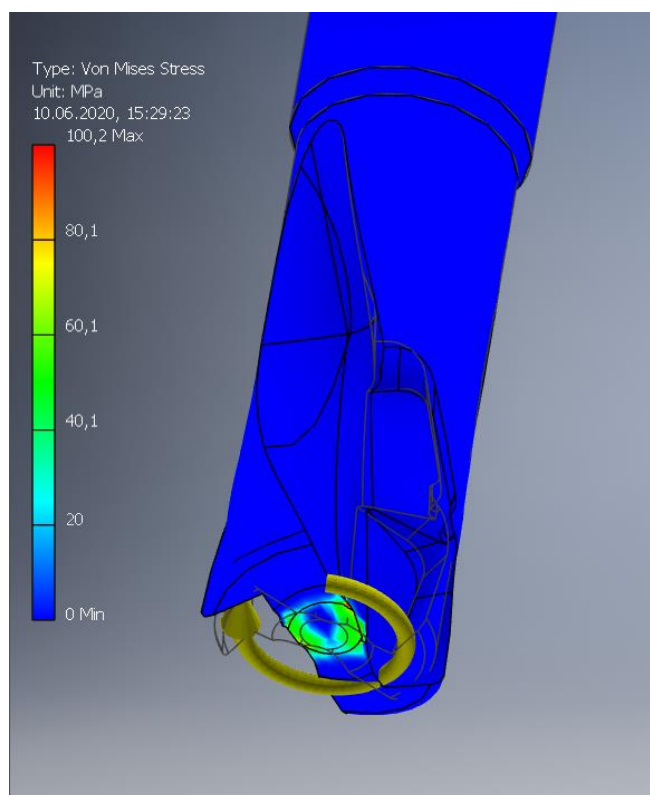


Рисунок 2.8 – результат симуляції

Із звіту програми про виконані дослідження можна отримати графічне зображення коефіцієнту запасу на різних ділянках тіла (рисунок 2.9).

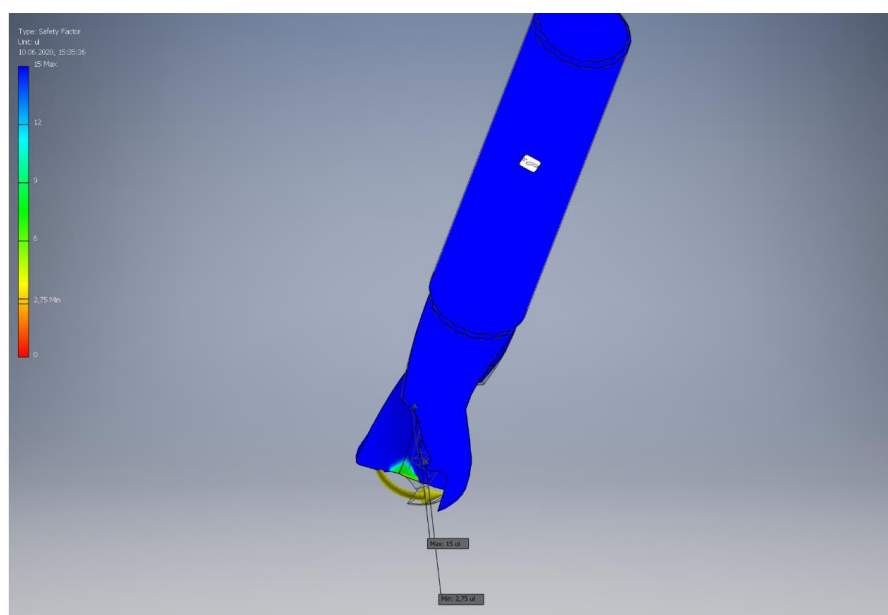


Рисунок 2.9 – візуалізація коефіцієнту запасу

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка Технологічного процесу для обробки пластинки

3.1.1 Розробка оптимального маршруту технологічного процесу

Для виготовлення кінцевої фрези необхідно розробити дві гілки технологічного процесу (ТП). Одна з них – виготовлення пластинки, а інша – корпусу фрези.

Для об'єктивного аналізу присвоюємо певну кількість критеріїв оцінки щоб перевірити наскільки той, чи інший ТП задовольняє ці умови:

Перевіримо раціональність використання двох технологій – порошкової металургії та обробка покупних пластинок.

ТП Пластинки:

К1. Твердість

К2. Шорсткість передньої поверхні

К3. Шорсткість задньої поверхні

К4. Радіус при вершині кромки

К5. Підвищення стійкості

К6. KBM

К7. Кількість одночасно виготовлених пластин

К8. Зменшення затрат на виробництво

К9. Зменшення логістичних витрат

К10. Удароміцність

К11. Стійкість до агресивних середовищ

К12. Стійкість периферії

К13. Жорсткість пластини

К14. Зниження токсичності виготовлення

К15. Граничні відхилення приєднальних розмірів

К16. Зменшення затирання по задній поверхні

К17. Стійкість до високих температур

K18. Підвищення різальної здатності

K19. Візуальна складова

Після чого логічні умови (критерії) необхідно розділити на групи впливу: технологічну, економічну, експлуатаційну (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – групи впливу критеріїв

Технологічна	Економічна	Експлуатаційна
K1-K4, K10, K15	K5-K9, K19	K11-K14, K16-K18

Присвоюю кожній операції своє ім'я, розділяючи їх на операції та позначаючи буквами: заготівельні – «З», механічної обробки – «М», постобробка та пакування – «П» (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2– розподіл операцій на групи

Контурна обробка (вирізання)	З1
Приготування суміші	З2
Пресування мундштучне	З3
Пресування пряме	З4
Пресування гідростатичне	З5
Допресування	З6
Попереднє спікання	З7
Остаточне спікання	З8
Сушка заготовки	З9
Заточка	М1
Шліфування робочої частини	М2
Шліфування поверхонь контакту	М3
Вишліфовування геометрії пластинки	М4
Нанесення покриття	П1
Ультразвукова очистка	П2
Пакування	П3
Полірування робочої частини	П4
МАО	П5

3.1.2 Побудова графу

На основі підготовлених даних можливо побудувати граф технологічних процесів (рисунок 3.1).

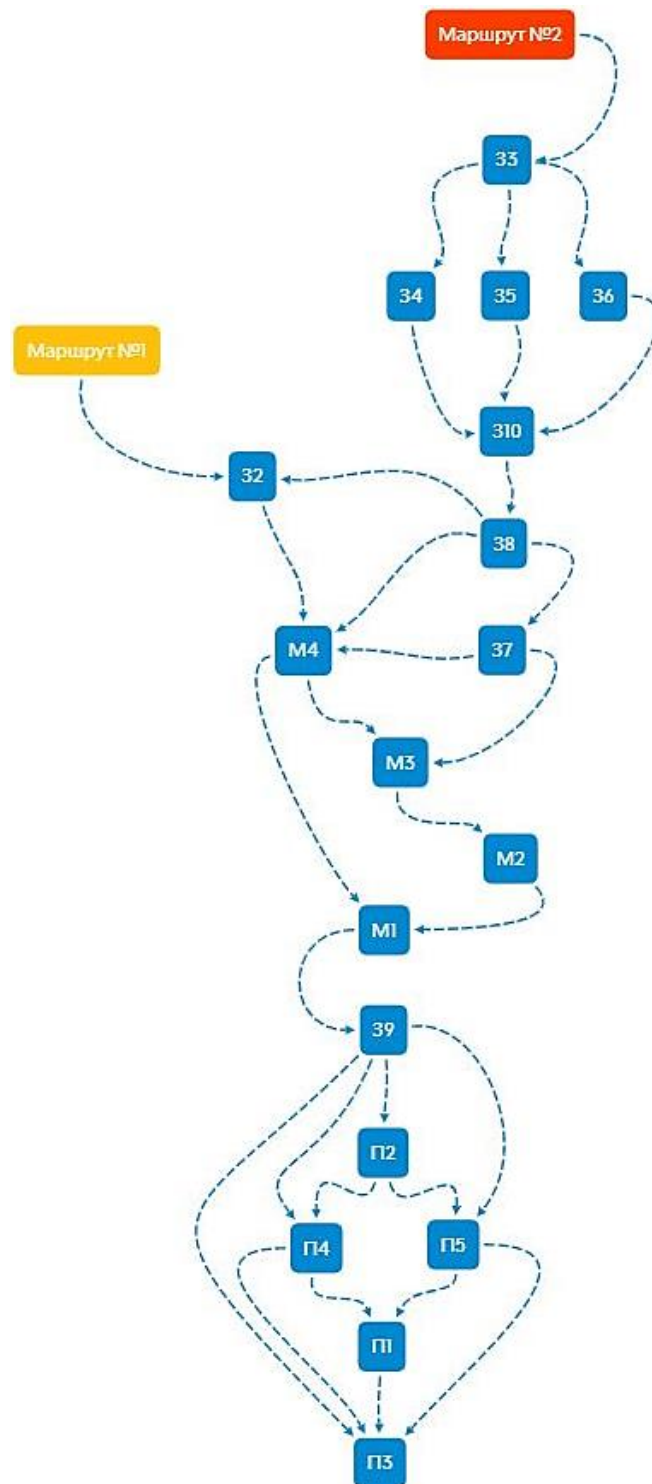


Рисунок 3.1 - Граф ТП пластинки

Методом створення графу можна наочно побачити послідовність виконання операцій та переваги того, чи іншого ТП. Результатом такого проектування є таблиця визначення потужності маршруту.

3.1.3 Визначення потужності маршруту

Розробимо таблицю потужностей маршрутів технологічних процесів. Для більш детального аналізу розіб'ємо кожний маршрут на три групи критеріїв – технологічні, економічна, експлуатаційні (таблиця 3.3).

Після цього підрахуємо загальну кількість набраних балів (таблиця 3.4)

Таблиця 3.3- Потужність технологічних процесів

Коди	Технологічні		Експлуатаційні		Економічні	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
31	2	Н	0	Н	3	Н
32	Н	1	Н	5	Н	4
33	Н	Н	Н	5	Н	3
34	Н	2	Н	5	Н	3
35	Н	Н	Н	5	Н	3
36	Н	2	Н	5	Н	3
37	Н	2	Н	5	Н	3
38	н	2	5	5	3	3
39	Н		Н	2	Н	1
М1	4	4	3	3	1	1
М2	Н	3	Н	3	Н	2
М3	Н	1	Н	0	Н	0
М4	5	Н	4	Н	1	Н
П1	3	Н	6	Н	2	Н
П2	Н	2	Н	1	Н	1
П3	0	0	0	0	1	1
П4	3	Н	3	Н	2	Н
П5	Н	3	Н	2	Н	2

Таблиця 3.4 - Загальна кількість набраних балів

Маршрут №1 2,6842105

Маршрут №2 5,1578947

Проаналізувавши дані із таблиці, можна зробити висновок, що маршрут №1 більш оптимальний, проте є можливість його допрацювати.

3.1.4 Висновок

Для вирішення моєї задачі більш раціональним буде використання покупних пластин та подальшою їх обробкою. Порошкова металургія є досить складною та не виправданою технологією в цьому випадку.

3.2 Синтез технологічного процесу виготовлення корпусу фрези

За алгоритмом, аналогічним до п.3.1.1 виконаємо аналіз для технологічного процесу виготовлення корпусу фрези (таблиця 3.5).

3.2.1 Критерії потужності технологічного процесу виготовлення корпусу

- K1. Твердість
- K2. Застосування методів адитивного виробництва
- K3. Допуск круглості
- K4. Допуск циліндричності
- K5. Шорсткість поверхні під пластинку
- K6. Граничні відхилення приєднувальних розмірів
- K7. Точність профілю гвинтової канавки
- K8. KBM
- K9. Точність виробництва циліндричного хвостовика
- K10. Зменшені витрати на виробництво
- K11. Зменшення логістичних витрат
- K12. Удароміцність
- K13. Стійкість до агресивних середовищ
- K14. Знижена токсичність
- K15. Температурна стійкість
- K16. Зменшена вібрація
- K17. Естетична складова
- K18. Підвищена швидкість виготовлення
- K19. Жорсткість
- K20. Зменшення биття

Таблиця 3.5 – групи впливу критеріїв

Технологічні	Економічні	Експлуатаційні
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K9, K7, K20	K8, K18, K10, K11, K17,	K12, K13, K19, K14, K15, K16

3.2.2. Побудова графу

На основі підготовлених даних можливо побудувати граф технологічних процесів (рисунок 3.2). Вершинами графу будуть технологічні операції, що виконуються при обробленні деталі, вони мають вагову характеристику, що визначається кількістю задовільнених цими операціями критеріїв.

ТП Корпусу

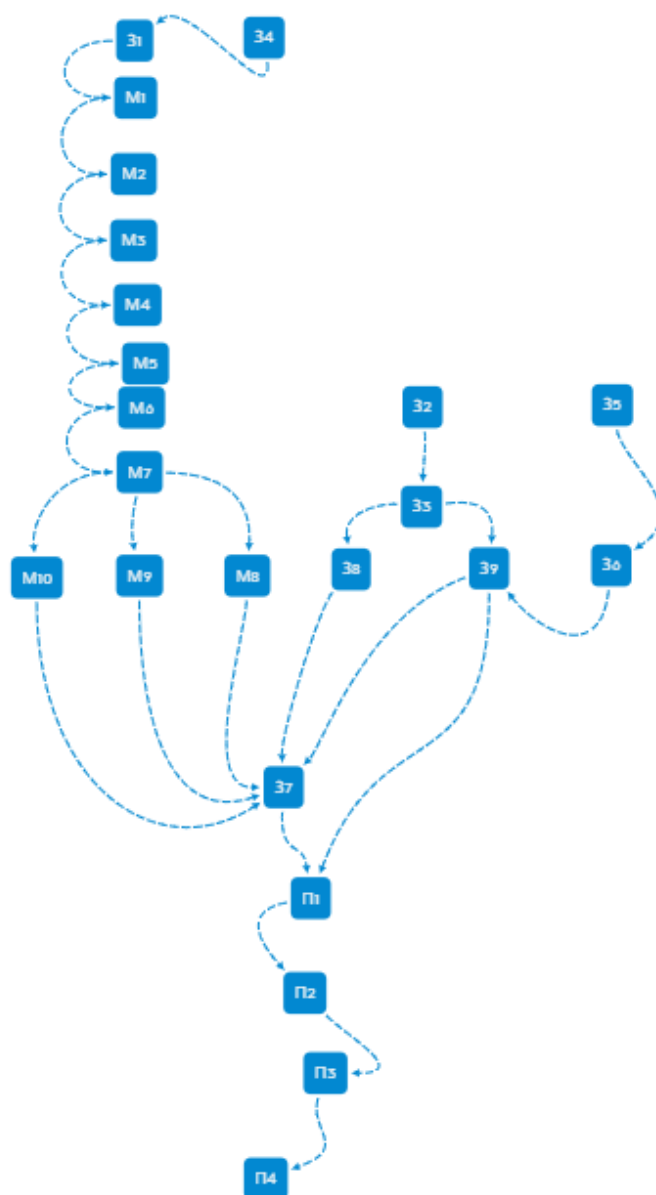


Рисунок 3.2 - Граф технологічних процесів виготовлення корпусу фрези

3.2.3. Визначення потужності технологічного процесу

Виконаємо зведену таблицю потужностей (таблиця 3.6), а також результати аналізу підрахуємо та занесемо до (таблиця 3.7).

Таблиця 3.6 потужності технології виготовлення корпусу

Коди	Технологічні			Економічні			Експлуатаційні		
	М1	М2	М3	М1	М2	М3	М1	М2	М3
31	1	н	н	2	н	н	0	н	н
32	н	0	н	н	2	н	н	0	н
33	н	1	н	н	3	н	н	0	н
34	0	н	н	4	н	н	0	н	н
35	н	н	1	н	н	5	н	н	1
36	н	н	2	н	н	4	н	н	0
37	1	1	1	0	0	0	3	3	3
38	н	1	н	н	1	н	н	0	н
39	н	1	1	н	3	3	н	0	0
М1	2	н	н	0	н	н	1	н	н
М2	4	н	н	0	н	н	1	н	н
М3	3	н	н	1	н	н	1	н	н
М4	3	н	н	1	н	н	1	н	н
М5	3	н	н	0	н	н	1	н	н
М6	2	н	н	1	н	н	2	н	н
М7	1	н	н	0	н	н	2	н	н
М8	3	н	н	0	н	н	1	н	н
М9	3	н	н	0	н	н	1	н	н
М10	3	н	н	0	н	н	1	н	н
П1	4	4	4	1	1	1	1	1	1
П2	1	1	1	2	2	2	0	0	0
П3	1	1	1	2	2	2	0	0	0
П4	1	1	1	2	2	2	2	2	2

Таблиця 3.7 Потужність технологічних процесів виготовлення корпусу

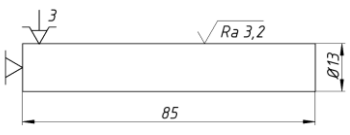
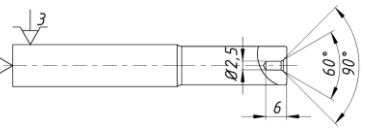
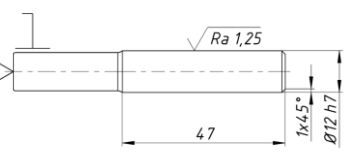
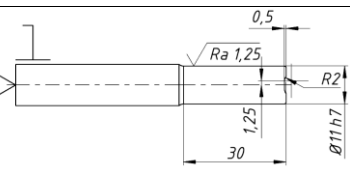
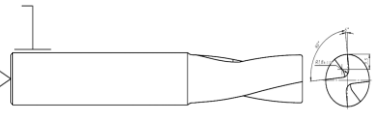
Маршрут №1	3,043478261
Маршрут №2	1,434782609
Маршрут №3	1,652173913

Проаналізувавши дані із таблиці, можна зробити висновок, що маршрут №1 більш оптимальний, проте є можливість його скомбінувати із маршрутом №3 та отримати ще більш продуктивний технологічний процес.

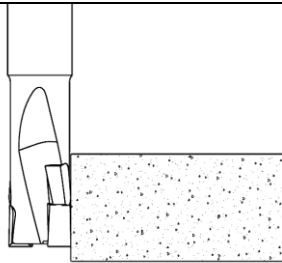
3.2.4 Висновок

Для вирішення моєї задачі більш раціональним буде використання покупних пластин із подальшою їх обробкою. Порошкова металургія є досить складною та не виправданою технологією в цьому випадку.

3.3 Розробка маршруту технології виготовлення

№	Найменування операції та її зміст по переходах	Ескіз базування	Обладнання	Інструмент
005	Заготівельна відрізання прутка для корпусу фрези		Токарно-револьверний прутковий автомат	Різець токарний відрізний
010	Правка прутка			
015	Токарна підрізання торця, чорнове точіння		HAAS VF-6/50TR	Різець токарний прохідний
020	Центрувальна прямий центр, свердління, зенкування конусу			Свердло центрівне
025	Токарна Чистове точіння хвостовика			Різець токарний прохідний
030	Токарна Чистове точіння робочої частини			Різець токарний прохідний
035	Фрезерна Фрезерування гвинтових канавок			Фреза кінцева 3 мм

040	Фрезерна Фрезерування пазів під пластинки			Фреза кінцева 3 мм
045	Контроль		EOS Coord3	
050	Маркування			
055	Термообробка			
060	Шліфувальна Шліфування хвостовика		ММ 2808 Weili	Шліфуваль ний круг 1А1
065	Шліфувальна Шліфування пазів під пластинки		<u>HAUSER</u> H35-400	Шліфуваль на головка

070	Ультразвукова чистка		Jeken CE-7200A	
075	Пайка пластинок			
080	Шліфувальна Шліфування у зборі		ММ 2808 Weili	Шліфувальний круг 1A1
085	Контроль		EOS Coord3	
090	Пакування		АФП Polpak D-1000	

3.4 Розрахунок припсків на механічну обробку хвостовика

Оскільки корпус фрези виготовляється із прутка, то необхідно визначити його кодування, що після розрахунку зміниться, оскільки ми отримаємо необхідний розмір заготовки для виконання необхідних операцій.

Попереднє кодування має такий вигляд:

$$\text{Круг} \frac{12 - h_{12} \text{ ГОСТ 7417} - 57}{45\Gamma - Б - Н \text{ ГОСТ 1051} - 73}$$

$$\text{Круг} \frac{12 - h_{12} \text{ ГОСТ 7417} - 57}{45\Gamma - Б - Н \text{ ГОСТ 1051} - 73}$$

Де 12 - діаметр прутка
 h_{12} - квалітет
 45Γ - матеріал прутка

Розрахуємо такі операції технологічного процесу : чорнове та чистове точіння, чорнове та чистове шліфування та для зручності приймаємо скорочення – ЧТ, ЧиТ, ЧШ та ЧиШ відповідно. Із [12] знаходимо значення Т - (15, 10, 15, 10 мкм відповідно) та Rz(30, 15, 10, 3,2 мкм відповідно)

Просторові відхилення прокату при обробці в центрах:

Кривизна прутка максимальна:

$$p_K = \Delta_K l \quad (3.1)$$

Максимальна локальна кривизна прутка визначається як:

$$p_{K.M} = \frac{\Delta_K(l^2 - l_x^2)}{l(1 + 4\Delta_K^2)}, \quad (3.2)$$

- Де l - довжина заготовки, $l=80$ мм
 l_x - відстань від центра заготовки до місцевого перерізу, тобто, для довжини хвостовика. $l_x=45-40=5$
 Δ_K - кривизна прокату, $\Delta_K = 3$ мкм/мм

Маємо :

$$p_K = 3 * 80 = 240 \text{ мкм};$$

$$p_{K.M} = \frac{3(80^2 - 5^2)}{80(1 + 4 * 3^2)} \approx 210 \text{ мкм}.$$

Цей показник необхідно домножити на коефіцієнт уточнення форми[12] $p_{K.Mi} = p_{K.M} * K_y$.

Після операцій:

- чорнової обробки: $p_{K.Mi} = 210 * 0.06 = 12,6$ мкм;
- чистової обробки $p_{K.Mi} = 210 * 0.04 = 8,4$ мкм;
- попередньої шліфовки: $p_{K.Mi} = 210 * 0.01 = 2,1$ мкм;

Заготовка встановлюється в центрах з поводком. Відповідно до ГОСТ 14034-70, оброблюваному діаметру 12 мм відповідає діаметр центрального отвору 2,5 мм.

Похибка встановлення визначається, як сума векторів похибки базування та похибки затиску:

$$\varepsilon_B = \varepsilon_6 + \varepsilon_3 \quad (3.3)$$

При встановленні по центрових гніздах на жорсткому передньому центрі, похибка базування ε_6 при обробці по діаметру дорівнює 0.

Похибка затиску при обробці в центрах визначається, як[22]:

$$\varepsilon_3 = C \left(\frac{P}{9,8} \right)^{0.5} \quad (3.4)$$

Де C – зміщення, що залежить від діаметру центрального отвору. Для діаметра центрального отвору 2,5 мм $C=12,4$ мм. P – складова зусилля різання.

При обробці в центрах, похибка затиску в радіальному напрямку відсутня. [21]. Маємо: $\varepsilon_B = 0$.

Мінімальний припуск на обробку зовнішніх поверхонь [12]:

$$2z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{p_{i-1}^2 + \varepsilon_{Bi}^2}) \quad (3.5)$$

Розрахуємо мінімальні міжопераційні припуски на кожну операцію по обробленню прутка:

- Чорнове точіння $2z_{\min} = 2 * (105 + 210 + 210) = 1050$ мкм;
- Чистове точіння $2z_{\min} = 2 * (15 + 10 + 12,6) = 75,2$ мкм;
- Чорнове шліфування $2z_{\min} = 2 * (10 + 10 + 8,4) = 56,8$ мкм;
- Чистове шліфування $2z_{\min} = 2 * (10 + 15 + 2,1) = 54,2$ мкм.

Розрахункові розміри після кожної з операцій:

- Чорнове точіння $d_{p3} = 11.985 + 0.065 = 12,05$ мм;
- Чистове точіння $d_{p3} = 12,05 + 0.079 = 12,129$ мм;
- Чорнове шліфування $d_{p3} = 12,129 + 0.129 = 12,258$ мм;
- Чистове шліфування $d_{p3} = 12,258 + 1.2 = 13,458$ мм;

Отримуємо найменші граничні розміри шляхом округлення їх в більшу сторону до того ж знаку, що і допуск на розмір. Знайдемо найбільші граничні розміри:

$$d_{\max4} = 11.985 + 0.018 = 12,003 \text{ мм}$$

$$d_{\max3} = 12.050 + 0.035 = 12,085 \text{ мм}$$

$$d_{\max2} = 12.130 + 0.070 = 12,200 \text{ мм}$$

$$d_{\max1} = 12.260 + 0.120 = 12,380 \text{ мм}$$

$$d_{\max\text{заг}} = 12,380 + 0.240 = 12,620 \text{ мм}$$

Мінімальні граничні значення припусків - це різниця найбільших граничних розмірів. Максимальні – різниця найменших граничних розмірів попередніх переходів:

$$2Z_{max4}^{pp} = 12,085 - 12,003 = 0,082 \text{ мм} = 82 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min4}^{pp} = 12,050 - 11,985 = 0,065 \text{ мм} = 65 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max3}^{pp} = 12,2 - 12,085 = 0,115 \text{ мм} = 115 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min3}^{pp} = 12,13 - 12,05 = 0,08 \text{ мм} = 80 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max2}^{pp} = 12,38 - 12,20 = 0,18 \text{ мм} = 180 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min2}^{pp} = 12,26 - 12,13 = 0,13 \text{ мм} = 130 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max1}^{pp} = 13,68 - 12,38 = 1,3 \text{ мм} = 1300 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min1}^{pp} = 13,46 - 12,26 = 1,2 \text{ мм} = 1200 \text{ мкм}.$$

Загальні припуски визначаються як:

$$2Z_{3min} = \sum_{i=1}^n 2Z_{mini} = 65 + 80 + 130 + 1200 = 1475 \text{ мкм};$$

$$2Z_{3max} = \sum_{i=1}^n 2Z_{maxi} = 82 + 115 + 180 + 1300 = 1677 \text{ мкм};$$

Найменший граничний розмір прутка:

$$D_{3min} = D_{min} + 2Z_{3min} = 11,985 + 1,475 = 13,46 \text{ мм}$$

Відповідно до ГОСТ 7417-57 приймаємо розмір прутка $13,8^{-0,24}$ мм.

Таблиця 3.8 – Розрахунок припусків на обробку хвостовика корпусу кінцевої фрези з розміром 12 h7

Технологічні переходи обробки елементарної поверхні	Складові припуску, мкм				Мінімальний припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	p	ε			d _{min}	d _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Заготовка	120	240	240	0	12,085	13,458	13,46	13,68	1475	1677
Чорнова токарна обробка	30	20	14,4	0	1200	12,258	12,26	12,38	1200	1300

Чистова токарна обробка	15	15	9,6	0	128,8	12,12 9	12, 13	12,2 0	130	180
Чорнове обробка шліфуванням	10	20	2,4	0	79,2	12,05 0	12, 05	12,0 85	80	115
Чистова обробка шліфуванням	3,2	15	-	-	64,8	11,98 5	11, 98	12,0 03	65	82
								Сума	147 5	1677

Після розрахунку припусків слід редагувати маркування заготовки. Отже, приймаємо заготовку:

$$\text{Круг } \frac{14(5) \text{ ГОСТ } 7417 - 57}{45\Gamma - \text{Б} - \text{Н ГОСТ } 1051 - 73}$$

3.5 Розрахунок режимів різання

Виконаємо розрахунок режимів різання для декількох технологічних операцій виготовлення корпусу фрези. Матеріал – сталь 45Г, $\sigma_B=940$ МПа, HB=302 (після термообробки)

Для чорнової токарної обробки глибину різання t обираємо таким, як і припуск на обробку - 0,6 мм. Приймаємо подачу $s=0,3$ мм/об, проаналізувавши розмір державки (16x25) та діаметр заготовки (менше 25 мм) [16]. Швидкість різання при поздовжньому точінні розраховується так:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v \quad (3.6)$$

Де T – середня стійкість інструмента при одноінструментній обробці. Значення T знаходяться в діапазоні 30-60 хв. Приймаємо $T=45$ хв.

Значення коефіцієнтів приймаємо для обробки конструкційної сталі $\sigma=750$ МПа :

$$C_v = 350$$

$$x = 0,15$$

$$y = 0,35$$

$$m = 0,2$$

K_v – поправочний коефіцієнт, на який домножується табличне значення швидкості різання. K_v визначається як (для одноінструментної обробки):

$$K_v = K_{Mv} K_{Пv} K_{Iv} \quad (3.7),$$

Де K_{Mv} - Коефіцієнт впливу матеріалу заготовки.

Визначається як:

$$K_{Mv} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{-1} = \frac{920}{750} = 0,707$$

$K_{Пv}$ - Коефіцієнт впливу стану поверхні заготовки.

Для прокату $K_{Пv} = 1,0$

K_{Iv} - Коефіцієнт впливу інструментального

матеріалу. Для матеріалу Т15К6 $K_{Iv} = 1,0$

Отже,

$$v = \frac{350}{45^{0,2} 0,6^{0,15} 0,4^{0,35}} * 0,707 * 0,9 * 1,0 = 154,7 \text{ м/с} \quad (3.8),$$

Приймаємо швидкість різання $v = 150 \text{ м/с}$ (діапазон рекомендованих - 120-170)

В загальному вигляді сила різання при поздовжньому точінні визначається, як:

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x s^y v^n K_p \quad (3.9)$$

Де C_p - Постійна, що знаходиться табличним методом.

Для знаходження:

Тангенційної сили P_z , $C_p=315$;

Радіальної сили P_y , $C_p=262$;

Осьової сили P_x , $C_p=354$

x, y, n - Показники степені, що визначаються для:

Тангенційної сили P_z , $x=1,0$; $y=0,75$; $n=-0,15$;

Радіальної сили P_y , $x=0,9$; $y=0,6$; $n=-0,3$;

Осьової сили P_x , $x=1,0$; $y=0,5$; $n=-0,4$

K_p - Поправочний коефіцієнт

Поправочний коефіцієнт K_p враховує фактичні умови різання, визначається як добуток:

$$K_p = K_{Mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp} \quad (3.10)$$

Де K_{Mp} - Коефіцієнт впливу матеріалу заготовки.
Визначається як:

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^{0.75} = \left(\frac{530}{750} \right)^{0.75} = 0,771$$

$K_{\varphi p}$ - Коефіцієнт впливу головного кута в плані. Для $\varphi = 45^\circ$ коефіцієнт для всіх складових сил однаковий: $K_{\varphi p} = 1,0$

$K_{\gamma p}$ - Коефіцієнт впливу переднього кута інструмента. Для різців з твердого сплаву при додатньому передньому куті 10 град для всіх складових сил однаковий: $K_{\gamma p} = 1,0$;

$K_{\lambda p}$ - Коефіцієнт впливу кута нахилу головного леза. При куті в 5 град для:

Тангенційної сили P_z , $K_{\lambda p} = 1,0$;

Радіальної сили P_y , $K_{\lambda p} = 1,25$;

Осьової сили P_x , $K_{\lambda p} = 0,85$

K_{rp} - Коефіцієнт впливу радіуса при вершині різця. Для твердого сплаву $K_{rp} = 1,0$

Визначимо складові сили різання. Тангенційна сила P_z :

$$P_z = 10 * 315 * 0,6^{1,0} 0,4^{0,75} 160^{-0,15} * 0,771 = 342,33 \text{ Н} \quad (3.11)$$

Радіальна сила P_y :

$$P_y = 10 * 262 * 0,6^{0,9} 0,4^{0,6} 160^{-0,3} * 0,771 * 1,25 = 200,7 \text{ Н} \quad (3.12)$$

Осьова сила P_x :

$$P_x = 10 * 354 * 0,6^{1,0} 0,4^{0,5} 160^{-0,4} * 0.771 * 0.85 = 82,87 \text{ Н} \quad (3.13)$$

Визначаємо потужність поздовжнього різання, як:

$$N = \frac{P_z v}{1020 * 60} = \frac{342 * 160}{1020 * 60} = 0.89 \text{ кВт} \quad (3.14)$$

4 РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛАСТИНОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У випадку, коли різальні елементи приєднуються до корпусу інструменту виникає необхідність розрахунку міцності з'єднання та конструкції в цілому. Одним із варіантів виконати такий аналіз є математична симуляція у системі Autodesk Fusion 360. Для виконання розрахунку використаємо метод кінцевих елементів, який вбудований у програмне забезпечення. Система розрахунку та проектування Fusion 360 дозволяє вирішувати багато задач, одними із яких є статичний та динамічний розрахунок.

4.1 Визначення характеристик матеріала деталі, що досліджується

Для перевірки пластинки на міцність необхідно її 3Д-модель завантажити у середовище Fusion 360. Потрібно обрати матеріал деталі або створити його вказавши його механічні та фізичні властивості (рисунок 4.1). В нашому випадку це аналог ВК8.

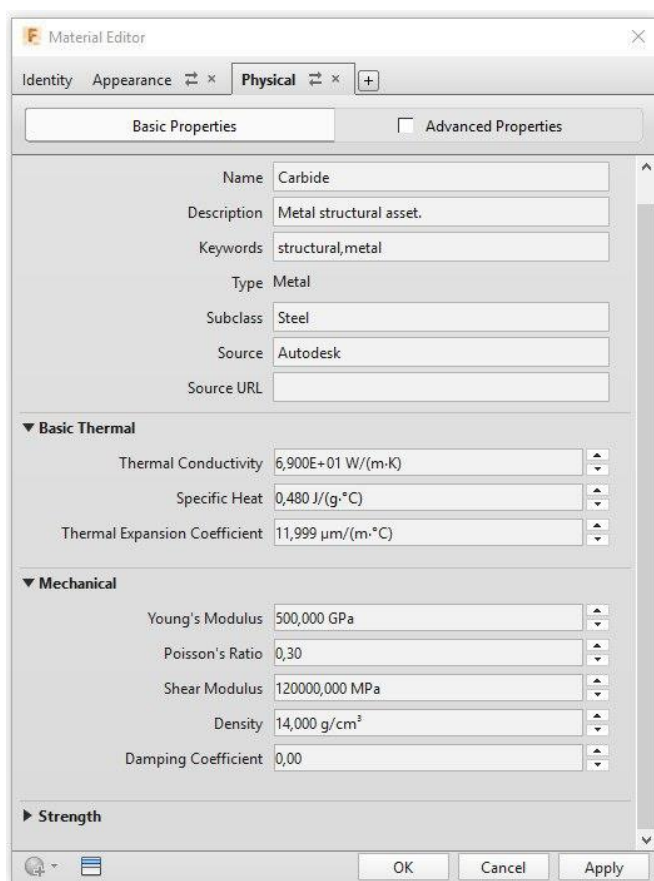


Рисунок 4.1 – Визначення механічних та фізичних властивостей матеріала

4.2 Характеристика контактів з іншими деталями

Після того, як матеріал деталі визначено, можна переходити на етап підготовки до симуляції. Перш за все, необхідно зробити заготовку визначеною, тобто надати залежності або зафіксувати. В даному випадку пластинка буде фіксуватись поверхнею контакту із корпусом інструменту, що паралельна передній поверхні (рисунок 4.2). Після встановлення залежностей створюємо нове дослідження та виконуємо статичний аналіз.

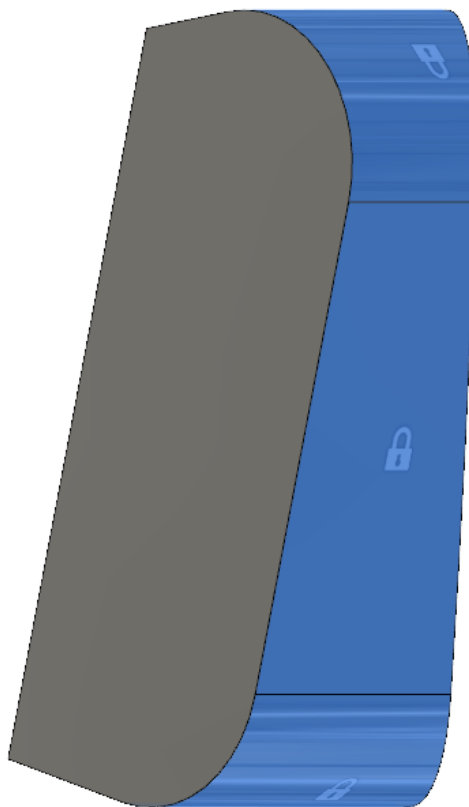


Рисунок 4.2 – Вибір геометрії для фіксації пластини

Після фіксації деталі, необхідно налаштувати сітку. Ми використовуємо абсолютний розмір елементів сітки 1 мм (рисунок 4.3). Це дозволить у подальшому більш точно аналізувати результати симуляції.

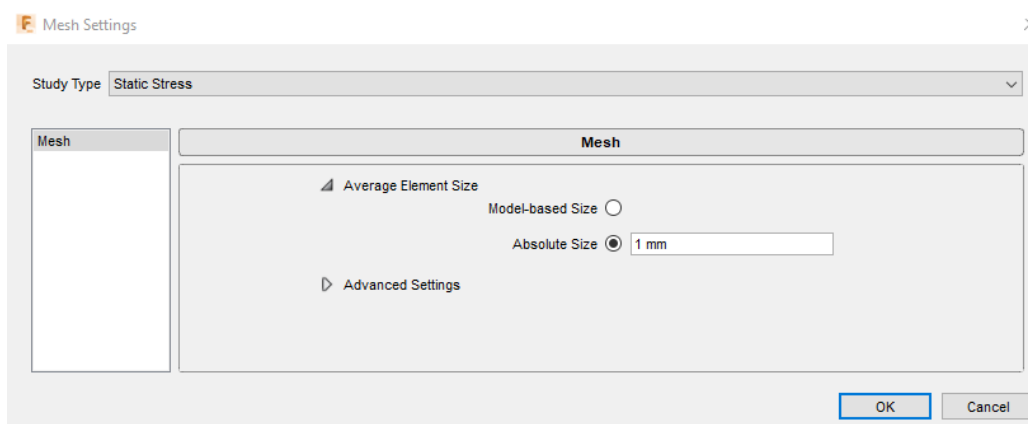


Рисунок 4.3 – Налаштування параметрів сітки

4.3 Визначення навантажень на деталь

Для запуску симуляції необхідна ще одна операція – прикладення навантаження.

В нашому випадку відбувається імітація різання пластиною, отже сила прикладається безпосередньо до різальної кромки (рисунок 4.4).

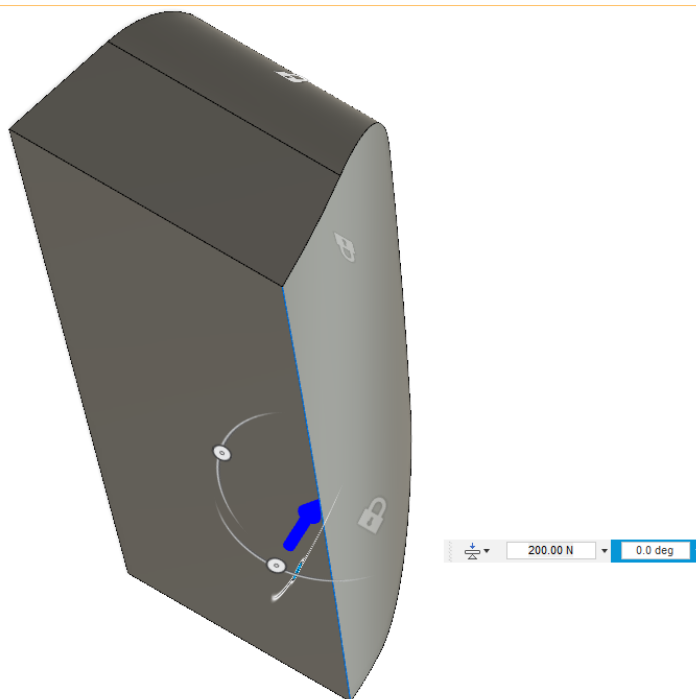


Рисунок 4.4 – Схема прикладення сили

4.4 Статичний розрахунок

Тепер запускаємо розрахунок та отримуємо результати розподілу коефіцієнту запасу по тілу деталі, розподіл навантажень (рисунок 4.6), деформації (рисунок 4.7), реакція опори (рисунок 4.8) та напружень (рисунок 4.9)

На рисунку 4.5 зображений розподіл коефіцієнту запасу по тілу деталі. Виходячи з того, що мінімальний коефіцієнт дорівнює 2,82 запасу міцності деталі вистачає.

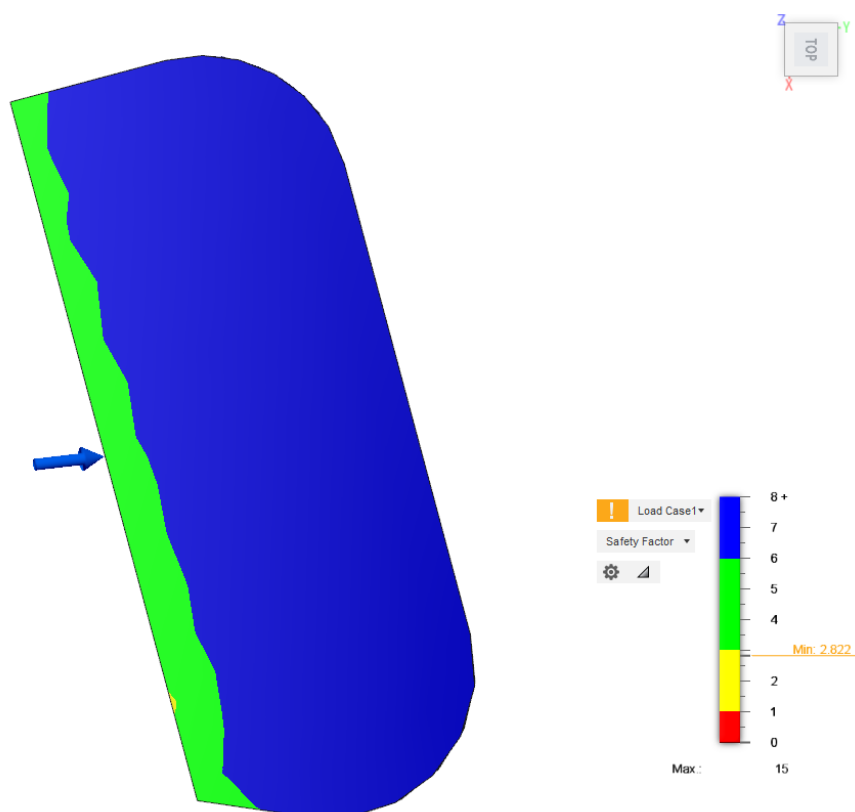


Рисунок 4.5 – розподіл коефіцієнту запасу

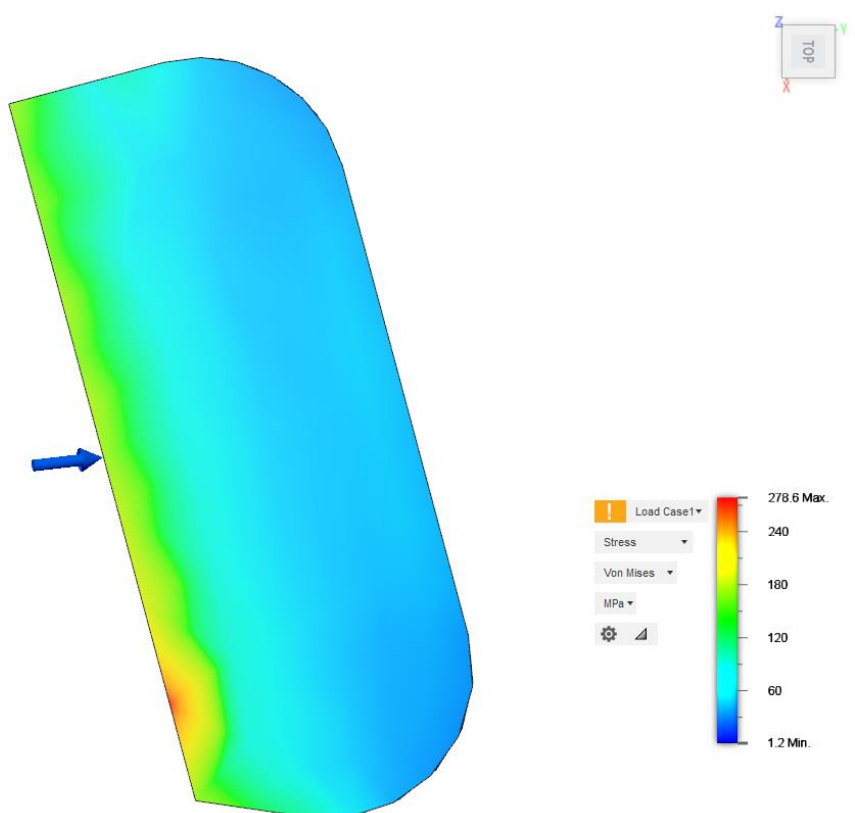


Рисунок 4.6 – розподіл навантажень

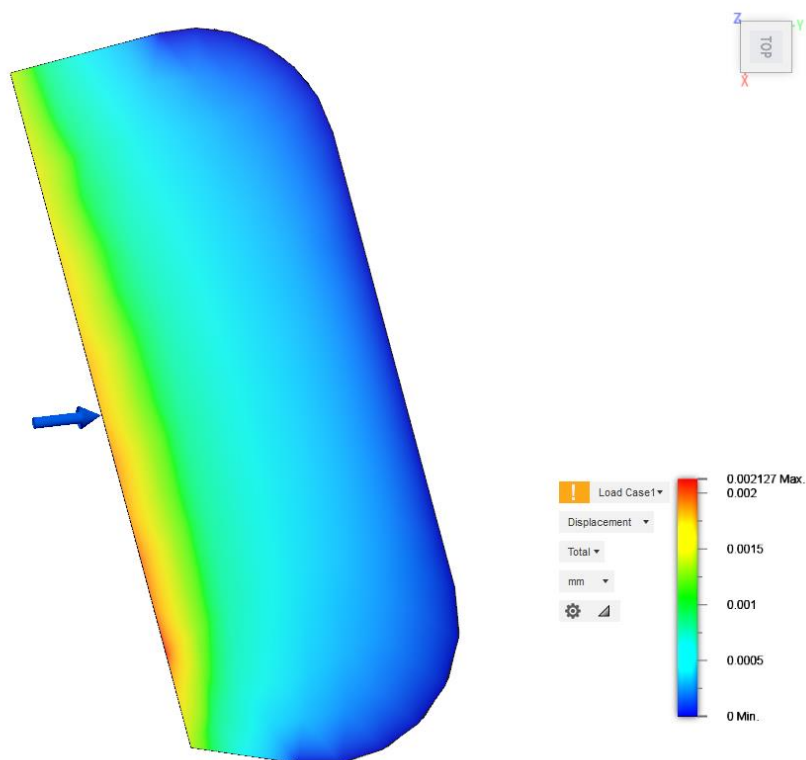


Рисунок 4.7 - деформації

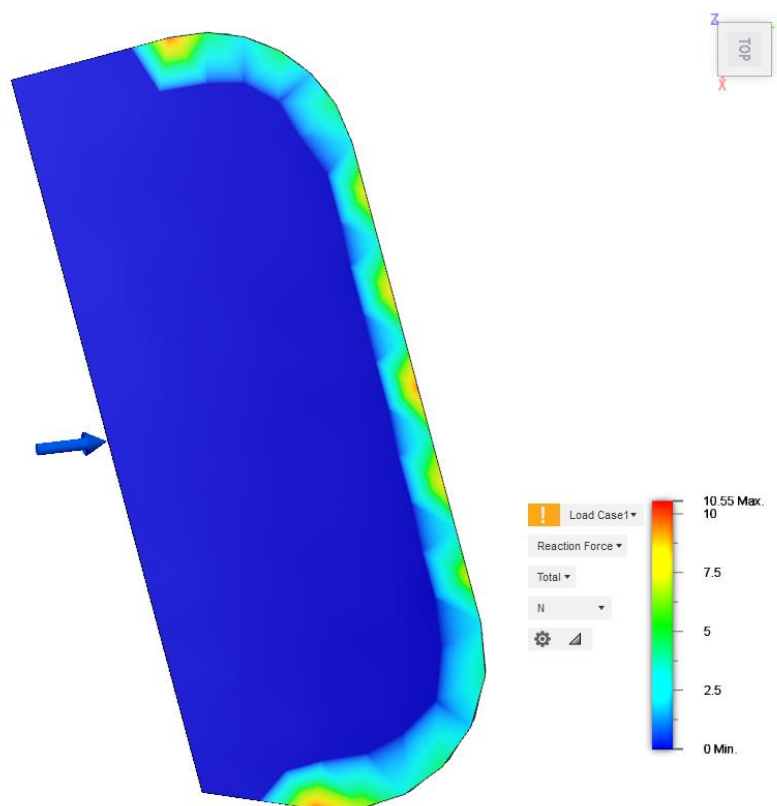


Рисунок 4.8 – реакція опори

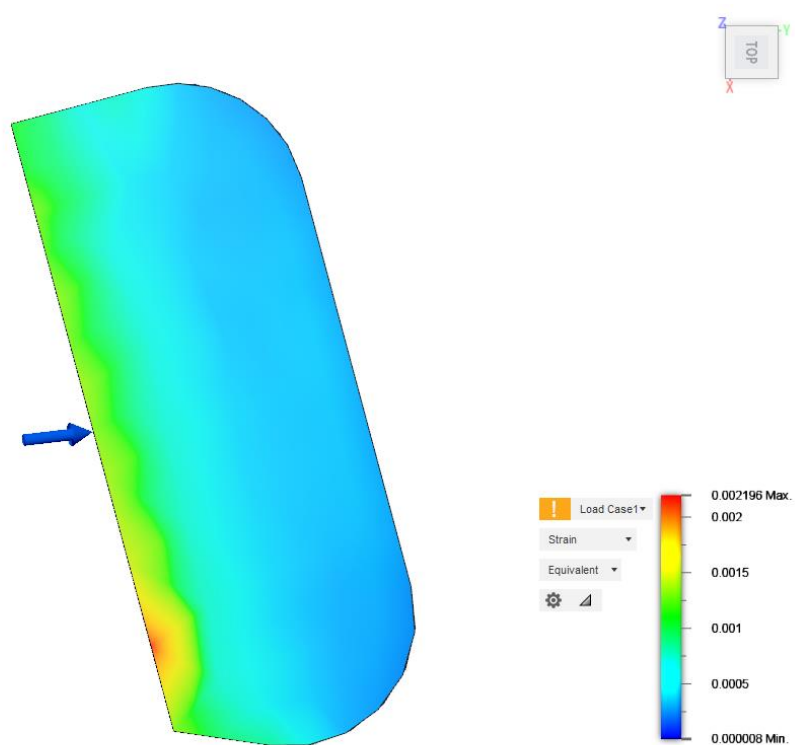


Рисунок 4.9 – розподіл напружень

Одним із важливих матеріалів, отриманих під час дослідження є зведена таблиця результатів симуляції (таблиця 4.1)

Таблиця 4.1 – результати аналізу

☐ **Result Summary**

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	2.822	15
Stress		
Von Mises	1.182 MPa	278.6 MPa
1st Principal	-16.62 MPa	95.84 MPa
3rd Principal	-266.7 MPa	24.31 MPa
Normal XX	-69.41 MPa	28.62 MPa
Normal YY	-176.4 MPa	45.28 MPa
Normal ZZ	-90.05 MPa	75.76 MPa
Shear XY	-56.19 MPa	35.37 MPa
Shear YZ	-29.99 MPa	139.8 MPa
Shear ZX	-17.5 MPa	19.28 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.002127 mm
X	-1.773E-04 mm	2.141E-04 mm
Y	-1.136E-04 mm	0.001989 mm
Z	-3.046E-05 mm	7.951E-04 mm
Reaction Force		
Total	0 N	10.55 N
X	-5.884 N	5.713 N
Y	-9.876 N	2.846 N
Z	-2.464 N	3.929 N
Strain		
Equivalent	7.959E-06	0.002196
1st Principal	1.82E-06	0.001611
3rd Principal	-0.002151	-4.72E-06
Normal XX	-1.336E-04	1.966E-04
Normal YY	-6.994E-04	8.884E-05
Normal ZZ	-1.676E-04	3.237E-04
Shear XY	-7.221E-04	4.545E-04
Shear YZ	-3.854E-04	0.001796
Shear ZX	-2.249E-04	2.477E-04

5 КОНСТРУКТОРСЬКА СКЛАДОВА

Об'єктом проектування є спеціальне ручне пристосування

Оскільки різальні кромки фрези будуть розташовані під кутом одна до одної як це реалізовано у суцільних фрезах із шевронною канавкою то при спробах розмістити пластинку під кутом втрачається циліндричність сліду, що залишатиме фреза під час обробки.

Тому було вирішено заточувати пластинки спеціальною оснасткою, яка забезпечить необхідну форму (рисунок 5.1).

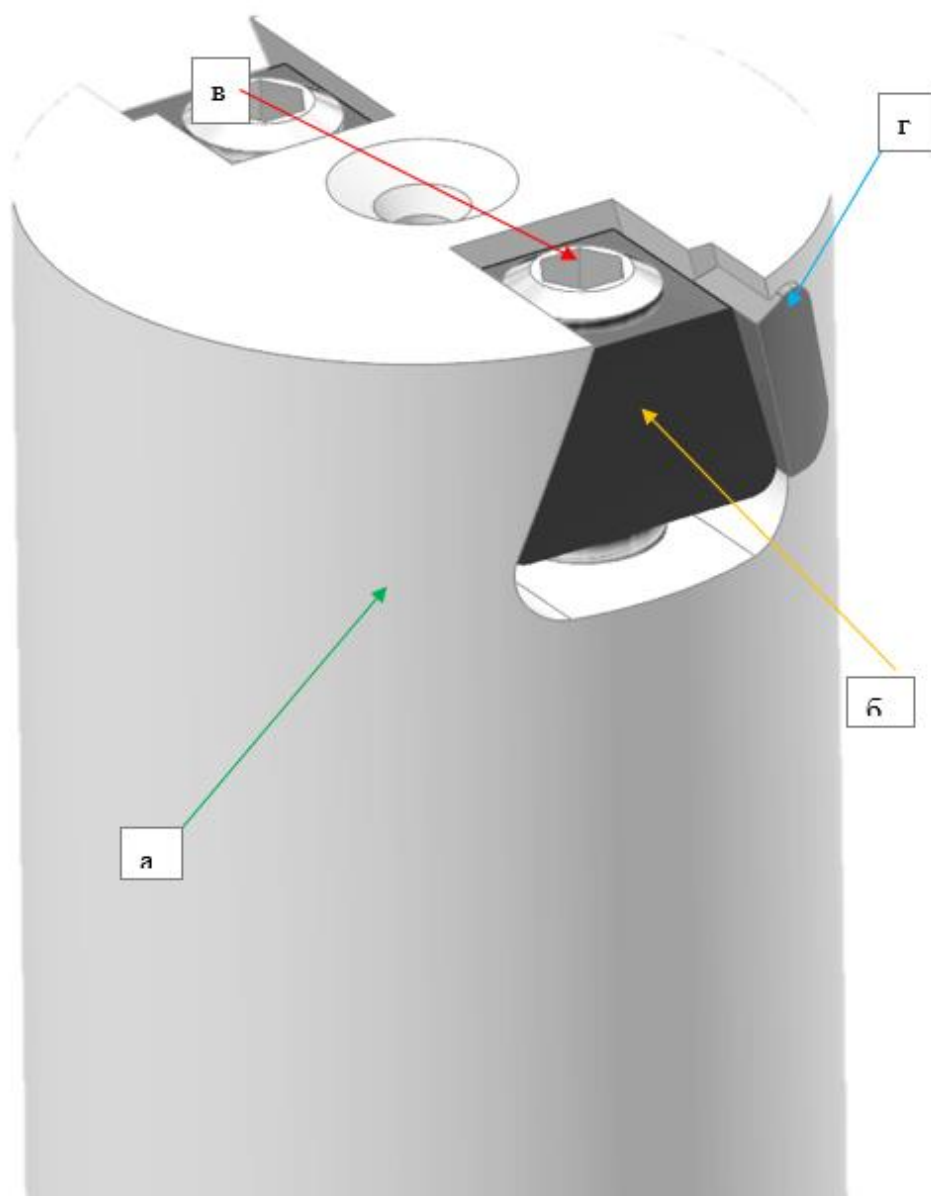


Рисунок 5.1 - Конструкція пристосування: (а - корпус пристосування, б – клин, в – гвинт, г - АТП)

Різальна кромка нахиленої пластинки повинна співпадати із циліндром 12мм, що умовно описаний навколо осі фрези (рисунок 5.2) складається з двох основних частин. Корпус, що є найбільш відповідальною деталлю, оскільки від його точності буде залежати кінцевий результат та якість обробки та зажимний пристрій – клин, що забезпечує надійне кріплення заготовки у корпусі. Також є гвинт, який дозволяє переміщувати клин та робить процес зняття та встановлення значно простішим.



Рисунок 5.2 - Демонстрація встановлення пластинки в пристосуванні

5.1 Розрахунок сил затиску

При зрізанні стружки на абразивні зерна шліфувального круга діють сили опору металу заготовки руйнування. Силою різання P називають рівнодіючу всіх діючих на інструмент сил в процесі шліфування [21] (рисунок 5.3).

Для практичних цілей зручно розкласти силу P на три складові: P_z , P_y і P_x . Складові сили різання P_z , що збігається за напрямком з напрямком швидкості головного руху (при шліфуванні - це окружна швидкість інструменту), називається головною, або дотичній, складовою сили різання. Складові сили різання при шліфуванні P_y , спрямована по радіусу шліфувального круга, називається радіальної складової (вона ж - сила нормального тиску в зоні контакту круга із заготовкою). Складові сили різання P_x , спрямована паралельно осі шліфувального круга, називається осьової складової.

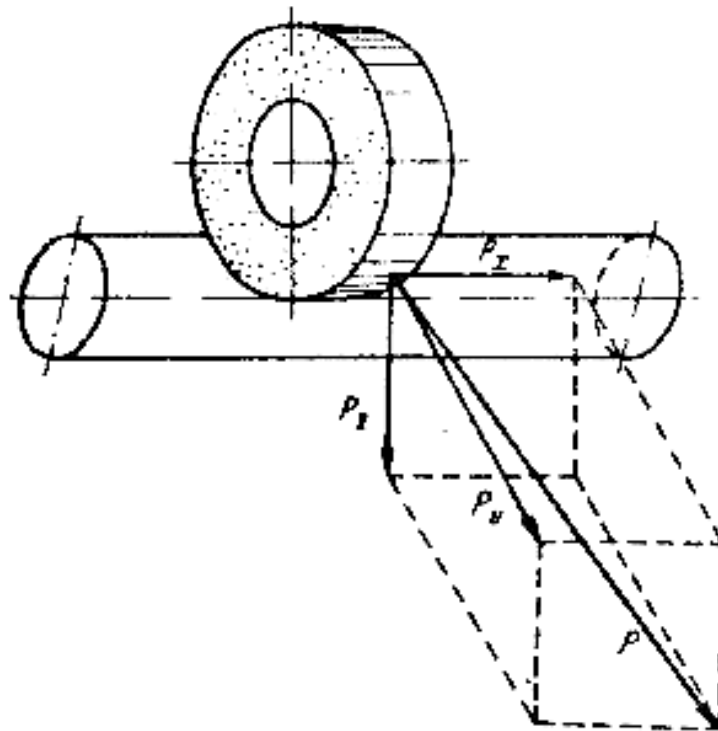


Рисунок 5.3 - Сили при круглому шліфуванні

Між складовими сили різання P_z і P_y (при шліфуванні більшості матеріалів різними колами) існує залежність $f = P_z / P_y \approx 0,3 \dots 0,45$, де f - коефіцієнт абразивного різання. Ефективну потужність шліфування можна визначити за формулою із [16]:

$$N_{\text{эф}} = CN * V_3^r * t^x * b^z \quad (5.1)$$

Де	CN	- Коефіцієнт,
	V_3	- Швидкість обертання заготовки
	t	- Товщина зрізу
	b	- Ширина зрізу

Отже, ефективна потужність:

$$N_{\text{эф}} = 2,65 * 20^{0,5} * 0,01^{0,5} * 3^{0,55} = 2,2 \text{ кВт}$$

Силу P_z , що є головною складовою сил різання при шліфуванні можна розрахувати за формулою:

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z * V}{10^3} \quad (5.2)$$

Де	P_z	- Головна складова сили різання, Н
	V	- Швидкість круга, м/с

Відповідно, головна складова сили різання становить:

$$P_z = \frac{2,2 * 10^3}{30} = 73,3 \text{ Н}$$

Оскільки затиск реалізовано клином, но отриману величину необхідно спроектувати в площину, перпендикулярну до поверхні клину (рисунок 5.4).

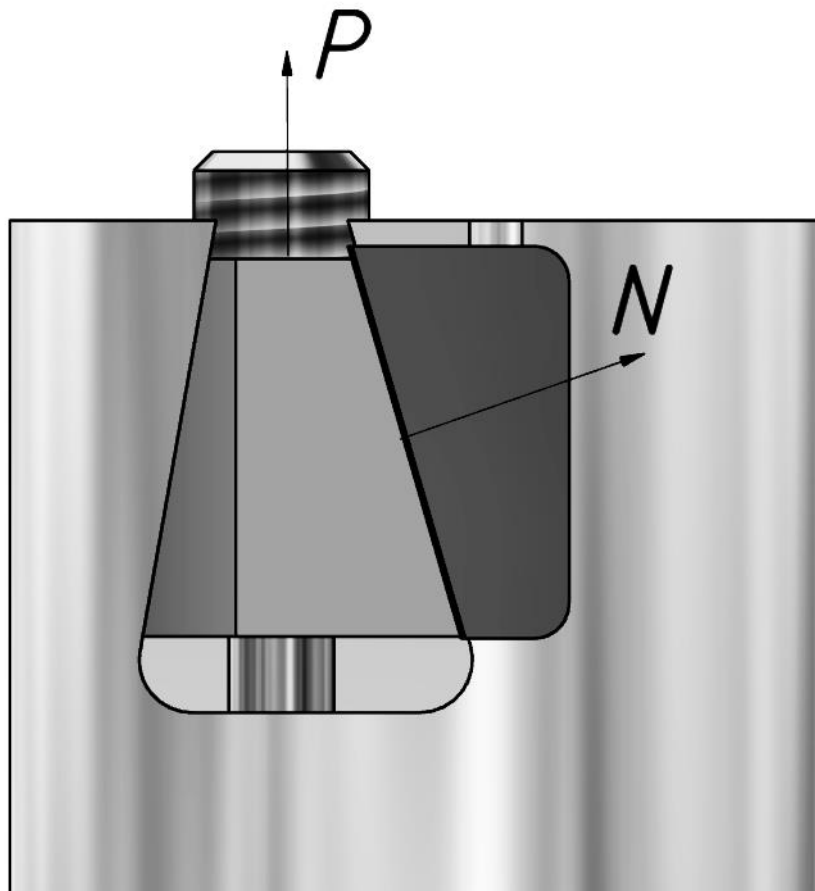


Рисунок 5.4 - Сили затиску

Тоді можна розрахувати силу, з якою необхідно затиснути клин як:

$$P = P_z * \operatorname{tg} 105 = 273 \text{ Н} \quad (5.3)$$

Після чого необхідно врахувати коефіцієнти запасу сили затиску:

$$P_{\text{зат}} = P * K \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Де } K &= K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 = \\ &= 1,5 * 1,2 * 1,2 * 1 * 1,3 * 1,2 * 1 = 3,37 \end{aligned}$$

Отже, визначимо силу затиску пластинки:

$$P_{\text{зат}} = 273 * 3,37 = 920 \text{ Н}$$

5.2 Розрахунок похибки базування

Виходячи із схеми базування, можна зробити висновок, що заготовка позбавлена п'ятих степенів свободи, де вимірювальна база, що також використовується як установча. Тому сумарна похибка на розмір буде рівною допуску на розмір $2,4 \pm 0,05$ мм

В цьому випадку похибка базування неминуча. Тому похибка базування буде коливатись в межах допуску на розмір $2,5 \pm 0,06$. Отже, похибка базування відповідатиме допуску на цей розмір або $\epsilon_B = 0,06$ мм. На рисунку 5.5 зображена оснастка із пластинкою.

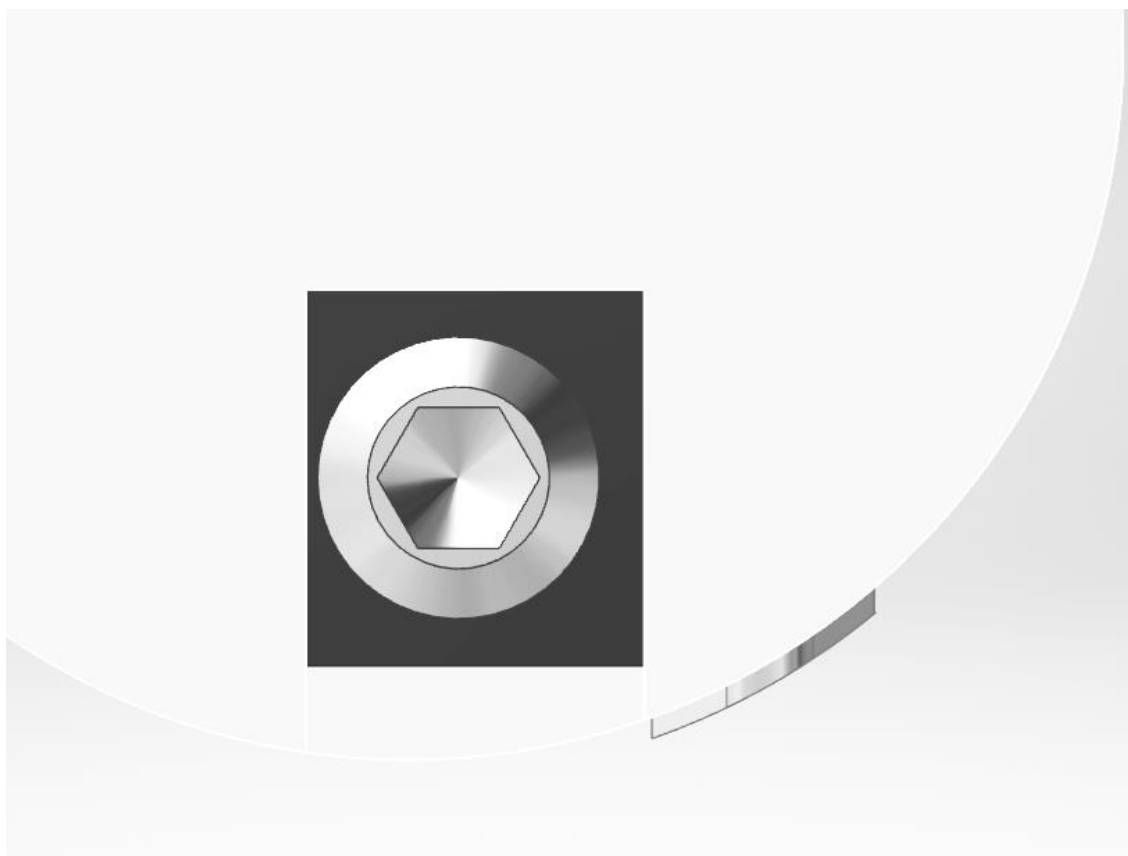


Рисунок 5.5 - Демонстрація встановлення пластинки в пристосуванні

6 ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЕРСТАТІ ІЗ ЧПК. ПРОГРАМА ОБРОБКИ

Для виготовлення операцій на верстаті із ЧПК не обхідно створити керуючу програму – G-код. В цьому файлі міститиметься вся інформацію про обробку – координати та траєкторії руху інструменту або заготовки, режими обробки, параметри інструменту, керуючі сигнали для керування системами верстату.

Обробка на верстатах із числовим програмним керуванням є більш точною та контрольованою, оскільки на сучасних верстатах встановлені системи контролю зносу інструменту, що дозволяє корегувати траєкторії для збереження необхідних геометричних параметрів.

Для створення програми необхідно скористатись САМ-програмою. В даному випадку – це Autodesk Fusion 360.

Завантажуємо раніше створену 3Д модель корпусу інструменту (рисунок 6.1):



Рисунок 6.1 – корпусу інструмента

Створюємо нове налаштування обробки (рисунок 6.2): обираємо верстат, заготовку, тип обробки тощо.

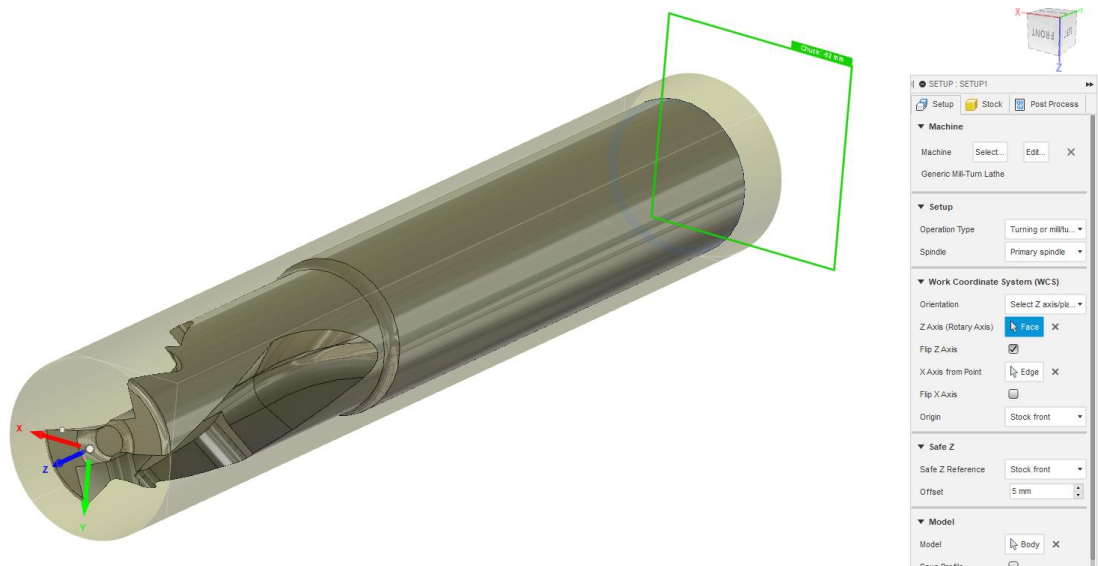


Рисунок 6.2 – Налаштування заготовки деталі

Наступним кроком є налаштування параметрів конкретної операції. Після створення операції можна увімкнути симуляцію процесу обробки, а також налагодити параметри відображення стандартної заготовки, швидкість відтворення, видимість траєкторії інструменту та реперних точок тощо. Результатом усіх дій є послідовне створення керуючої програми для обробки заготовки на верстаті із ЧПК.

6.1 Операція підрізання торця

В першу чергу створюємо керуючу програму із операції підрізання торця заготовки (рисунок 6.3). За обмежуючу поверхню обираємо реальний торець деталі, що оброблюється.



Рисунок 6.3 – Симуляція виконання операції підрізання торця

Операція відбувається в три проходи, загальний час виконання операції: 27 секунд.

6.2 Операція чорнового точіння деталі по контуру

Було створено ескіз створив ескіз, що став траєкторією останнього проходу різця під час чорнової обробки зовнішньої циліндричної поверхні, аналогічно попередній створивши нову операцію (рисунок 6.4)

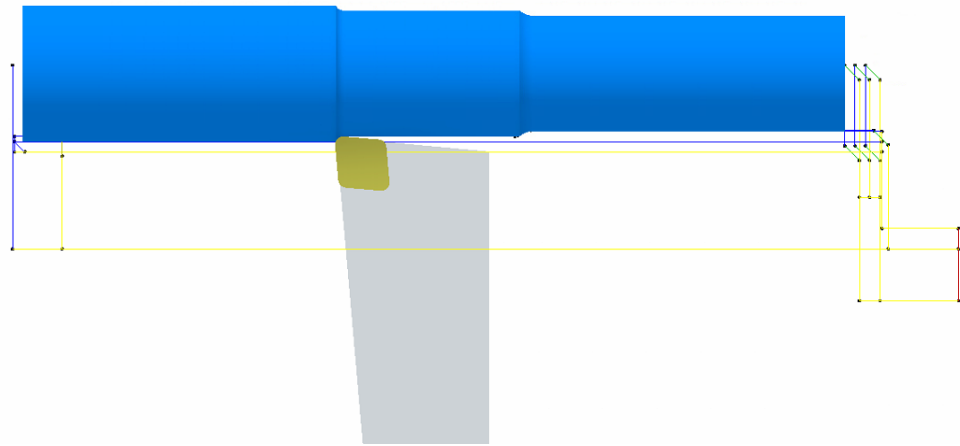


Рисунок 6.4 – симуляція чорнової обробки деталі

6.3 Чистове точіння кдеталі по контуру

Було задано траєкторію руху інструмента та просимульовано виконання операції чистового точіння деталі (рисунок 6.5).

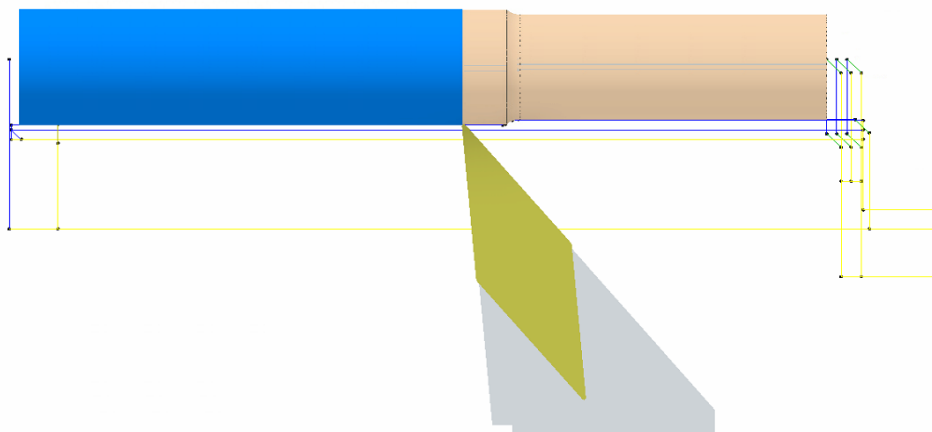


Рисунок 6.5 – Чистова токарна обробка

6.4 Операція відрізання деталі

Після виконання токарних операцій відбувається відрізання деталі відрізним різцем. При налаштуванні було задано довжину заготовки, що перевищує довжину деталі. З однієї сторони припуск знімається підрізанням торця, з іншої відрізанням. Для цього, аналогічно попереднім операціям, створимо індивідуальні налаштування та оберемо інструмент (рисунок 6.6).

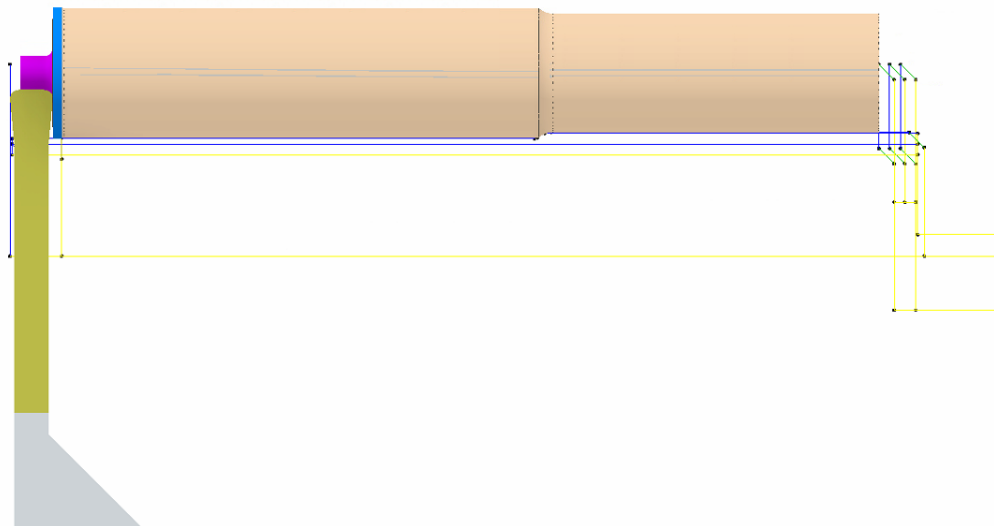


Рисунок 6.6 – Симуляція виконання операції відрізання деталі

Після створення та налаштування всіх необхідних операцій створюємо керуючу програму або G-code, що дозволить у автоматичному режимі сформувати звіт по всьому циклу обробки (рисунок 6.7.1-6.7.4)


Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>Stock:</p> <p>DX: 14mm</p> <p>DY: 14mm</p> <p>DZ: 82.5mm</p> <p>PART:</p> <p>DX: 12mm</p> <p>DY: 12mm</p> <p>DZ: 76.5mm</p> <p>Stock Lower in WCS #0:</p> <p>X: -7mm</p> <p>Y: -7mm</p> <p>Z: -79.5mm</p> <p>Stock Upper in WCS #0:</p> <p>X: 7mm</p> <p>Y: 7mm</p> <p>Z: 3mm</p>	

Рисунок 6.7 – Загальні налаштування для деталі

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 4</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 3</p> <p>TOOLS: T1 T2 T3</p> <p>MAXIMUM Z: 11mm</p> <p>MINIMUM Z: -80.5mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 3009.128mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 335.27mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 568.3mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:1s</p>

Рисунок 6.8 – Загальні параметри повного циклу обробки




Tools			
T1 D0			
TYPE: groove turning	MINIMUM Z: -80.5mm	HOLDER: External Right	
INSERT: Square	MAXIMUM FEED: 2310.309mm/min		
WIDTH: 4mm	MAXIMUM SPINDLE SPEED: 0rpm		
NOSE RADIUS: 0.8mm	CUTTING DISTANCE: 35.6mm		
COMPENSATION: Tip	RAPID DISTANCE: 183mm		
DESCRIPTION: OD Grooving	ESTIMATED CYCLE TIME: 12s (10.3%)		
T2 D0			
TYPE: general turning	MINIMUM Z: -80.3mm	HOLDER: ISO L Right	
INSERT: ISO C 80deg	MAXIMUM FEED: 3009.128mm/min		
EDGE LENGTH: 5mm	MAXIMUM SPINDLE SPEED: 0rpm		
NOSE RADIUS: 0.8mm	CUTTING DISTANCE: 217.04mm		
CROSS SECTION: T	RAPID DISTANCE: 272.73mm		
TOLERANCE: M	ESTIMATED CYCLE TIME: 46s (38.3%)		
RELIEF: N 0deg			
COMPENSATION: Tip tangent			
DESCRIPTION: CNMT Right Hand			
T3 D0			
TYPE: general turning	MINIMUM Z: -75.7mm	HOLDER: ISO L Right	
INSERT: ISO V 35deg	MAXIMUM FEED: 336.045mm/min		
EDGE LENGTH: 16.89mm	MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm		
NOSE RADIUS: 0.2mm	CUTTING DISTANCE: 82.63mm		
CROSS SECTION: T	RAPID DISTANCE: 112.57mm		
TOLERANCE: M	ESTIMATED CYCLE TIME: 17s (14.1%)		
RELIEF: N 0deg			
COMPENSATION: Tip tangent			
DESCRIPTION: VNMT Right Hand			

Рисунок 6.9 – Параметри використаного інструмента





Operations			
Operation 1/4 DESCRIPTION: Face1 STRATEGY: Turning Face WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPOVER: 1mm	MAXIMUM Z: 11mm MINIMUM Z: 0mm SURFACE SPEED: 91m/min FEEDRATE PER REV: 0.127mm CUTTING DISTANCE: 46.16mm RAPID DISTANCE: 73.33mm ESTIMATED CYCLE TIME: 9s (7.5%) COOLANT: Flood	T2 D0 TYPE: general turning INSERT: ISO C 80deg EDGE LENGTH: 5mm NOSE RADIUS: 0.8mm CROSS SECTION: T TOLERANCE: M RELIEF: N 0deg COMPENSATION: Tip tangent DESCRIPTION: CNMT Right Hand	
Operation 2/4 DESCRIPTION: Profile Roughing2 WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPOVER: 1.2mm	MAXIMUM Z: 11mm MINIMUM Z: -80.3mm SURFACE SPEED: 91m/min FEEDRATE PER REV: 0.127mm CUTTING DISTANCE: 170.89mm RAPID DISTANCE: 199.4mm ESTIMATED CYCLE TIME: 37s (30.8%) COOLANT: Flood	T2 D0 TYPE: general turning INSERT: ISO C 80deg EDGE LENGTH: 5mm NOSE RADIUS: 0.8mm CROSS SECTION: T TOLERANCE: M RELIEF: N 0deg COMPENSATION: Tip tangent DESCRIPTION: CNMT Right Hand	
Operation 3/4 DESCRIPTION: Profile Finishing2 WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPOVER: 1mm	MAXIMUM Z: 11mm MINIMUM Z: -75.7mm SURFACE SPEED: 91m/min FEEDRATE PER REV: 0.127mm CUTTING DISTANCE: 82.63mm RAPID DISTANCE: 112.57mm ESTIMATED CYCLE TIME: 17s (14.1%) COOLANT: Flood	T3 D0 TYPE: general turning INSERT: ISO V 35deg EDGE LENGTH: 16.89mm NOSE RADIUS: 0.2mm CROSS SECTION: T TOLERANCE: M RELIEF: N 0deg COMPENSATION: Tip tangent DESCRIPTION: VNMT Right Hand	
Operation 4/4 DESCRIPTION: Part1 STRATEGY: Turning Part WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm	MAXIMUM Z: 11mm MINIMUM Z: -80.5mm SURFACE SPEED: 91m/min FEEDRATE PER REV: 0.127mm CUTTING DISTANCE: 35.6mm RAPID DISTANCE: 183mm ESTIMATED CYCLE TIME: 12s (10.3%) COOLANT: Flood	T1 D0 TYPE: groove turning INSERT: Square WIDTH: 4mm NOSE RADIUS: 0.8mm COMPENSATION: Tip DESCRIPTION: OD Grooving	

Рисунок 6.10 – Операційна карта токарного циклу технологічного процесу виготовлення деталі

Приклад згенерованої керуючої програми подано в додатку А.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор): монография / [Д. В. Криворучко, В. А. Залого, В. А. Пасечник та ін.]. – Сумы: Университетская книга, 2013. – 272 с. Без'язичний В.Ф. Розрахунок режимів різання. Навчальний посібник./ Авер'янов І.Н., Кордюков А.В. 2009 - 184 с.
2. Барсов А.И. Технология изготовления режущего инструмента./ А.И. Барсов, А.В.Иванов, К.И. Кладова и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 136 с.
3. А.Ю. Попов Технологія алмазного шліфування твердосплавних виробів./ Д.С. Реченко, Е.В. Васильєв, В.А. Сергєєв, А.Г. Кольцов: Технологія машинобудування 24 – 29 с.
4. Кащук В.А. Справочник заточника./ В.А. Кащук, Д.А Мелехин, Б.П. Барман– М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.
5. Муха И.М., Технология изготовления твердосплавных деталей и инструментов./ И.М. Муха, В.Е.Любимов – К.: Техника, 1980. – 191 с.
6. Ординарцев И.А. Справочник инструментальщика./ И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.И. Шевченко и др.– Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
7. Палей М.М. Технология шлифования и заточки режущего инструмента./ М.М. Палей, Л.Г. Дибнер, М.Д. Фрид – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
8. Юдковский П.А. Автоматизация производства и повышение качества концевго режущего инструмента./ П.А. Юдковский, Г.И. Киберев, А.П. Шевель и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.

9. Равская Н.С. Технология инструментального производства [підручник] /Н.С. Равська, П.П. Мельничук, А.Г. Касьянов, Р.П. Родин. - Житомир: ЖІТІ, 2001 - 555с.
10. Майборода В.С. Застосування магніто-абразивної обробки для зміцнення різального інструменту / В.С. Майборода, Н.В. Ульяненко, Л.Г.Дюбнер // Вісник ЖТТУ – 2003 - №3(27) – с.22-31.
11. Родин П.Р. Монолитные твердосплавные концевые фрезы. / П.Р.Родин, Н.С. Равская, А.И. Касьянов. – К: Вища школа, 1985 – 64с.
12. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. М.,«Машиностроение», 1976 – 288 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя, том 1, под редакцией Косиловой А.Г., Мещерякова Р.П. Издание 4-е, перераб. и доп. Москва, "Машиностроение", 1986.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Том 2 / [Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов та ін.]. – Москва: Машиностроение, 1986. – 496 с. – (4-е издание, перераб. и доп.).
15. Расчет режимов резания. Учебное пособие / Безъязычный В. Ф., Аверьянов И. Н., Кордюков А. В. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.
16. Режимы резания металлов: Справочник/Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. – М.: НИИТавтопром. 1995. – 456 с.
17. Стали и сплавы. Марочник: Справ. Изд. / В.Г.Сорокин и др.; Науч. С77 ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев – М.: «Интермет Инжиниринг», 2001. – 608с.:ил.
18. Дмитриев В. А. Расчет приспособлений на точность: учебное пособие / В. А. Дмитриев, С. А. Немыткин. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2009. – 90 с.

19. Авраменко В. Е. Технология машиностроения. Расчет припусков и межпереходных размеров: Учеб. пособие / В. Е. Авраменко, Ю. Ю. Терсков. – Красноярск: ПИ СФУ, 2007. – 88 с.
20. <https://www.autodesk.com/>
21. Артамонов, Е. В. А 86 Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е. В. Артамонов, Т. Е. Помигалова, М. Х. Утешев ; подобщей ред. М. Х. Утешева. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. — 152 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
КЕРУЮЧА ПРОГРАМА ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТОКАРНИХ
ОПЕРАЦІЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

; %_N_1001228_MPF

N10 G90 G94 G18

N11 G71

N12 LIMS=6000

N13 G53 G0 X0.

; Face1

N14 T2 D1

N15 G54

N16 M8

N17 G95

N18 G97 S662 M3

N19 G0 X44. Z11

N20 G96 S91 M3

N21 LIMS=6000

N22 G0 Z3.414

N23 X24.

N24 G1 X16.828 F0.127

N25 X14. Z2

N26 X-1.6

N27 X1.228 Z3.414

N28 G0 X24.

N29 Z2.414

N30 G1 X16.828 F0.127

N31 X14. Z1

N32 X-1.6

N33 X1.228 Z2.414

N34 G0 X24.

N35 Z1.414

N36 G1 X16.828 F0.127

N37 X14. Z0

N38 X-1.6

N39 X1.228 Z1.414

N40 G0 X44.

N39 X1.228 Z1.414

N40 G0 X44.

N41 Z11

N42 G97 S662 M3

; Profile Roughing2

N43 G95

N44 G97 S970 M3

N45 G0 X30. Z11

N46 G96 S91 M3

N47 LIMS=6000

N48 G0 Z3.6

N49 X13.2

N50 G1 Z-80.3 F0.127

N51 X15.2

N52 G0 Z3.6

N53 X11.2

N54 G1 Z-30.977 F0.127

N55 G18 G2 X12.2 Z-31.899 I1.1

N56 G1 Z-80.3

N57 X13.2

N58 X15.2 Z-79.3

N59 G0 Z3.6

N60 X30.

N61 Z11

N62 G97 S970 M3

N63 M9

N64 G53 X0.

; Profile Finishing2

N65 M1

N66 T3 D1

N67 G54

N68 M8
N69 G95
N70 G97 S856 M3
N71 G0 X34. Z11
N72 G96 S91 M3
N73 LIMS=5000
N74 G0 Z4.214
N75 X13.828
N76 G1 X11. Z2.8 F0.127
N77 Z-30.377
N78 G18 G2 X12. Z-31.622 I1.8
N79 G1 Z-75.7
N80 X16.
N81 G0 X34.
N82 Z11
N83 G97 S856 M3
N84 M9
N85 G53 X0.
; Part1
N86 M1
N87 T1 D1
N88 G54
N89 M8
N90 G95
N91 G97 S856 M3
N92 G0 X34. Z11
N93 G96 S91 M3
N94 LIMS=6000
N95 G0 Z-80.5
N96 G1 X-1.6 F0.127
N97 X34.
N98 G0 Z11
N99 G97 S856 M3

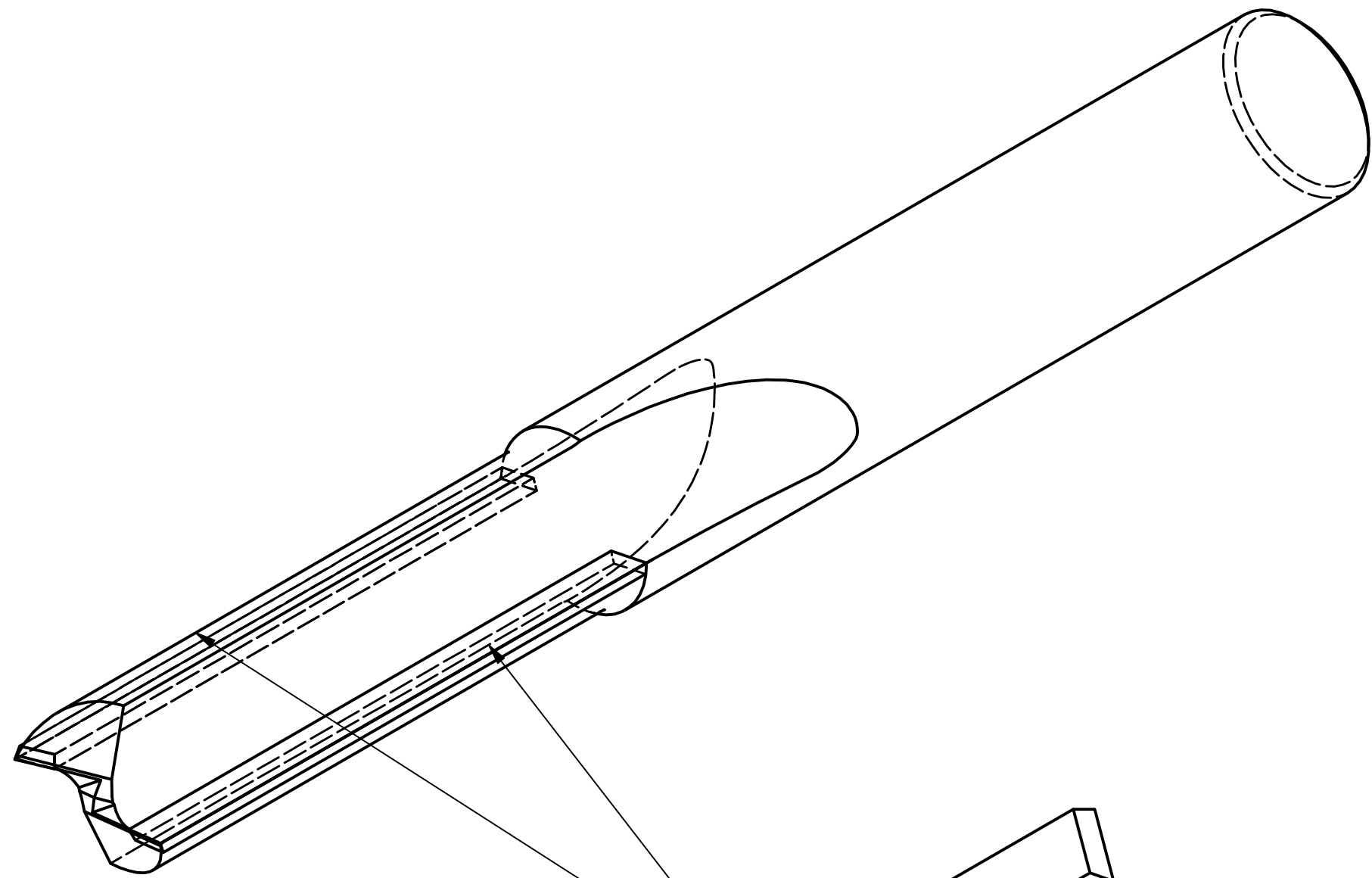
N100 M9

N101 G53 X0.

N102 G53 Z0

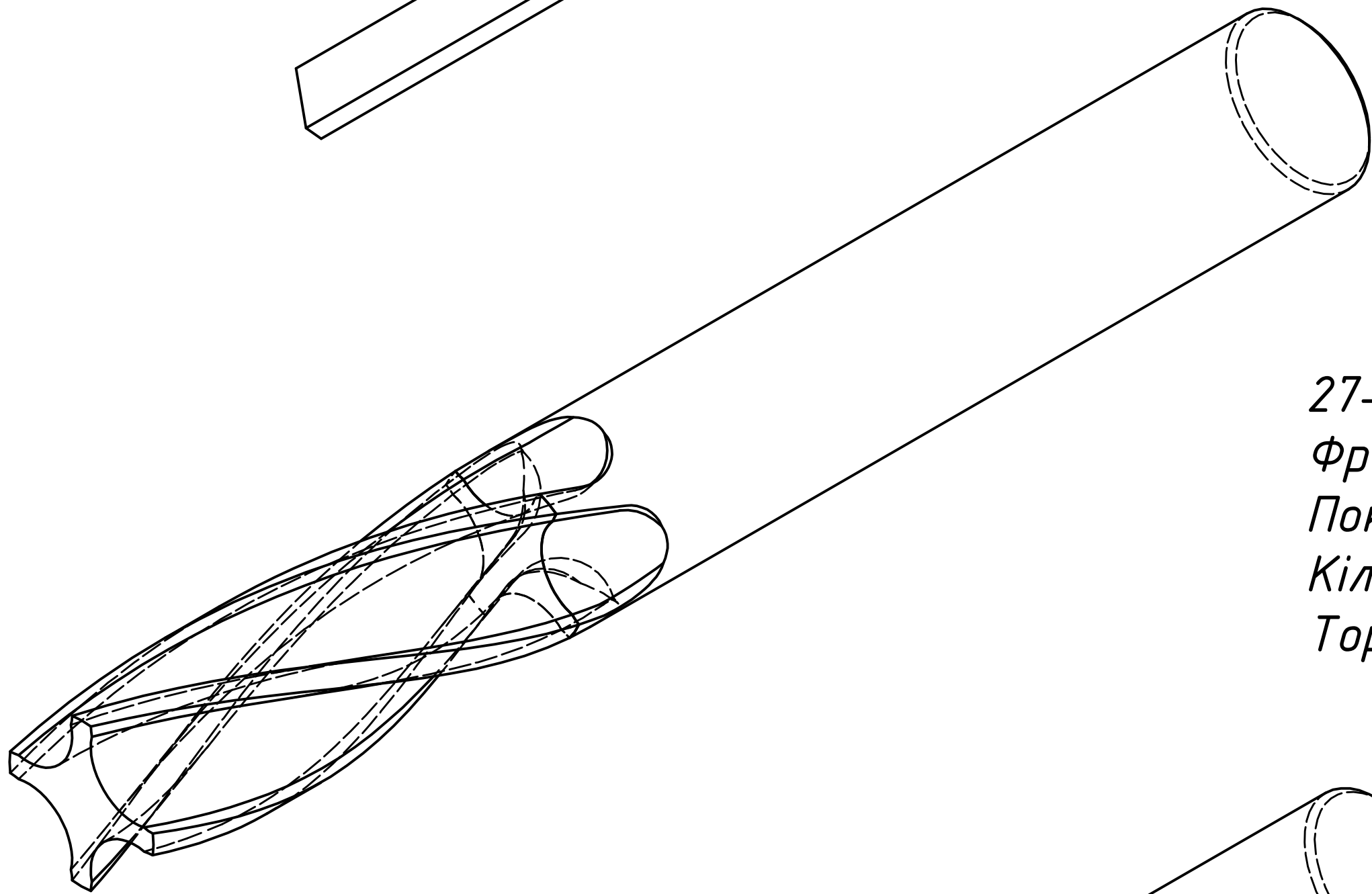
N103 M30

В

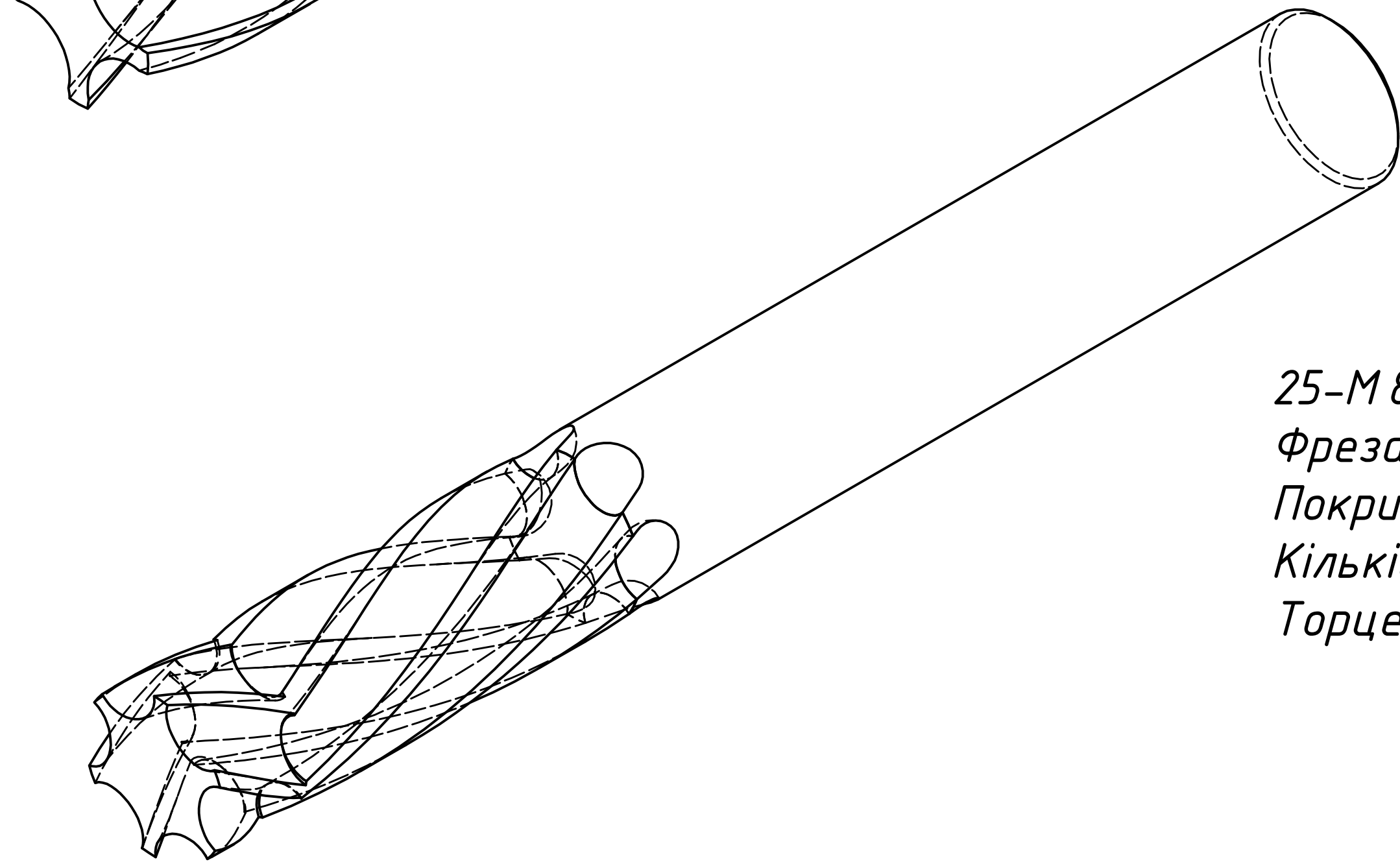


Твердосплавна пластинка

PLURA PCD/N20C
Фреза кінцева із прямою канавкою та
напайними твердосплавними пластинками
Підвід 30P через інструмент наявний.
Кількість різальних елементів – 2.
Торцеві різальні кромки – наявні.

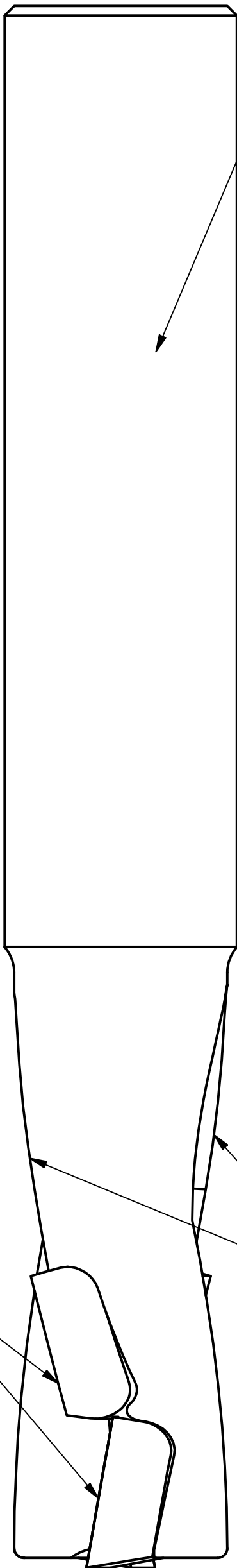


27-M 83063
Фреза кінцева із спіральною канавкою
Покриття – Di-NAMITE кристалічне алмазне.
Кількість різальних елементів – 4.
Торцеві різальні кромки відсутні.



25-M 82997
Фреза кінцева із шевронною канавкою
Покриття – Di-NAMITE кристалічне алмазне.
Кількість різальних елементів – від 4 до 8.
Торцеві різальні кромки відсутні.

Циліндричний хвостовик.
Сумісний із цангою ER32 12 мм.



Чотири АТП

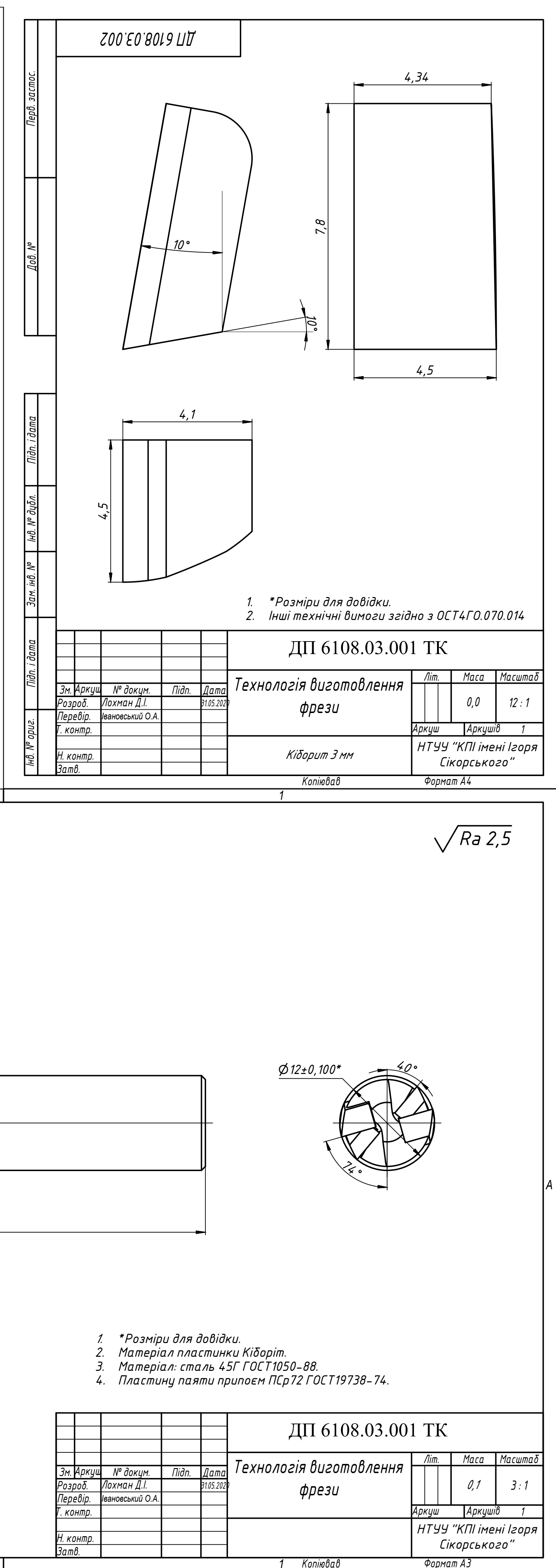
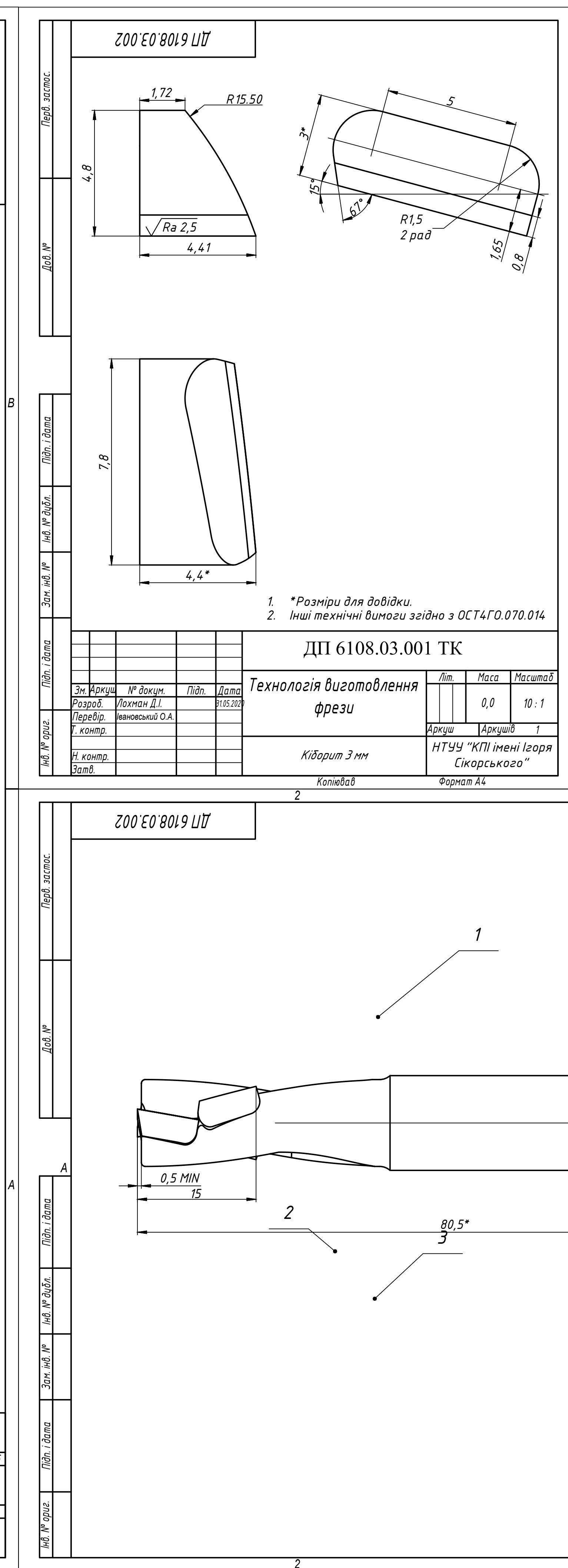
Дві ліві гвинтові канавки

Синтезований інструмент
Фреза кінцева із спіральною канавкою та
напайними алмазно-твердосплавними пластинками,
розташованими у вигляді шеврону.
Корпус – Сталь 45Г ГОСТ1050–88
Різальні елементи – Кідорит.
Кількість різальних елементів – 4.
Кількість торцевих різальних кромок – 2.

А

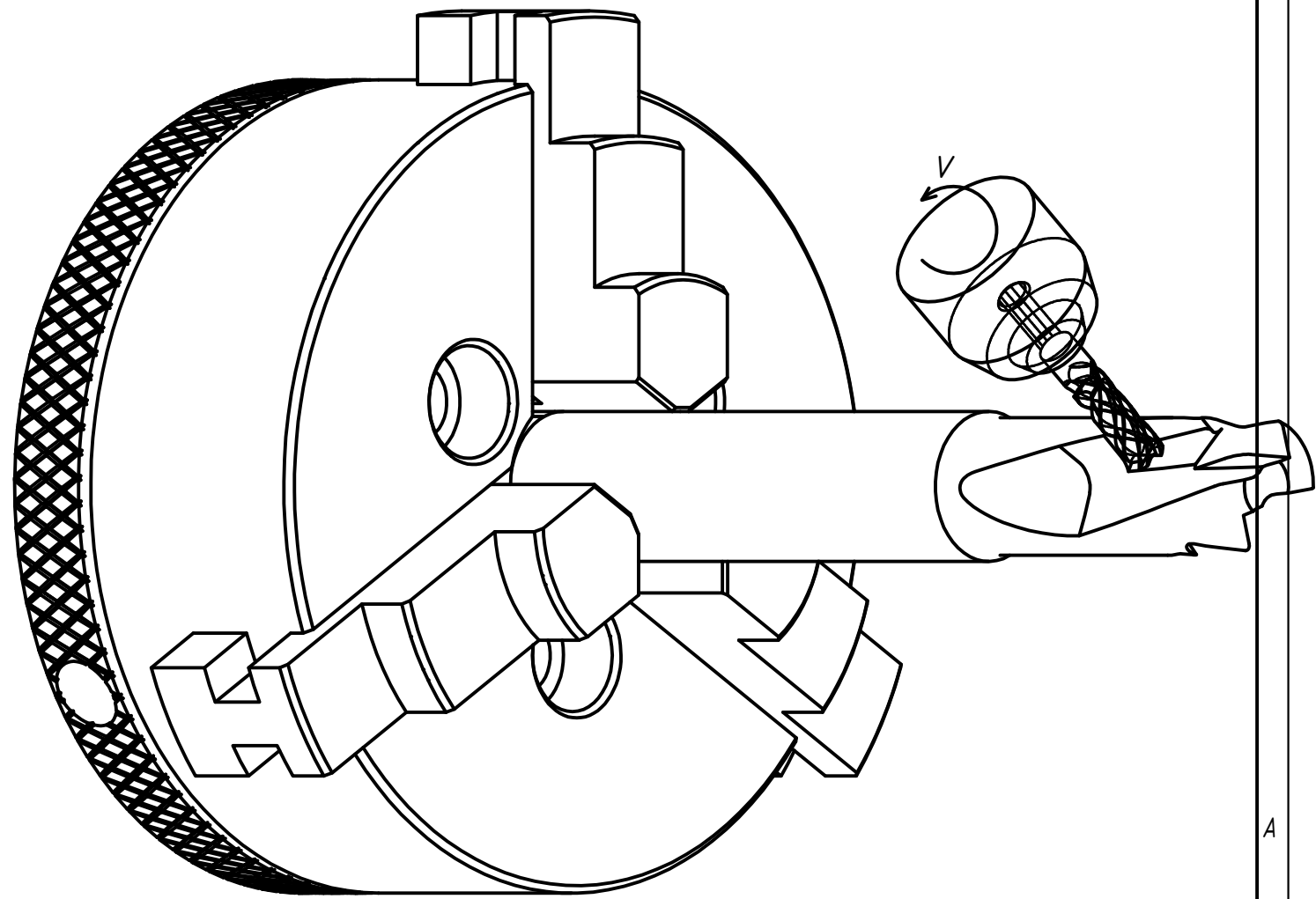
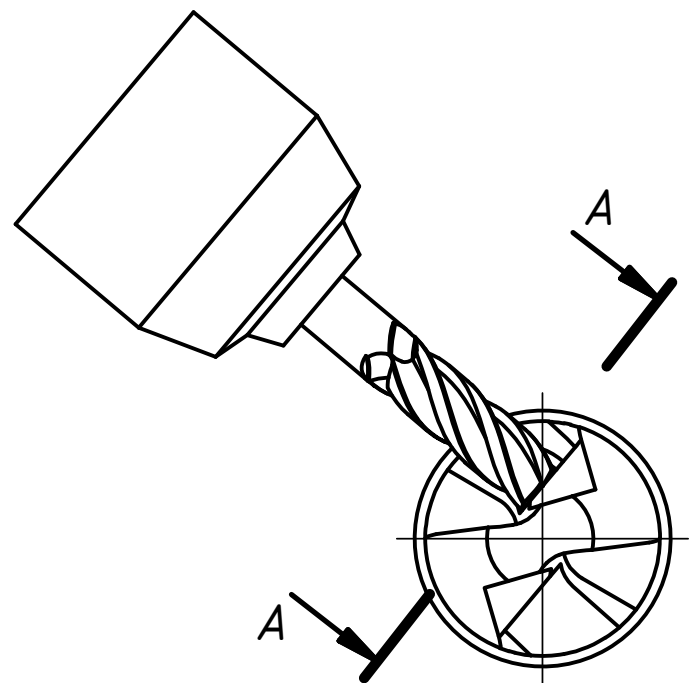
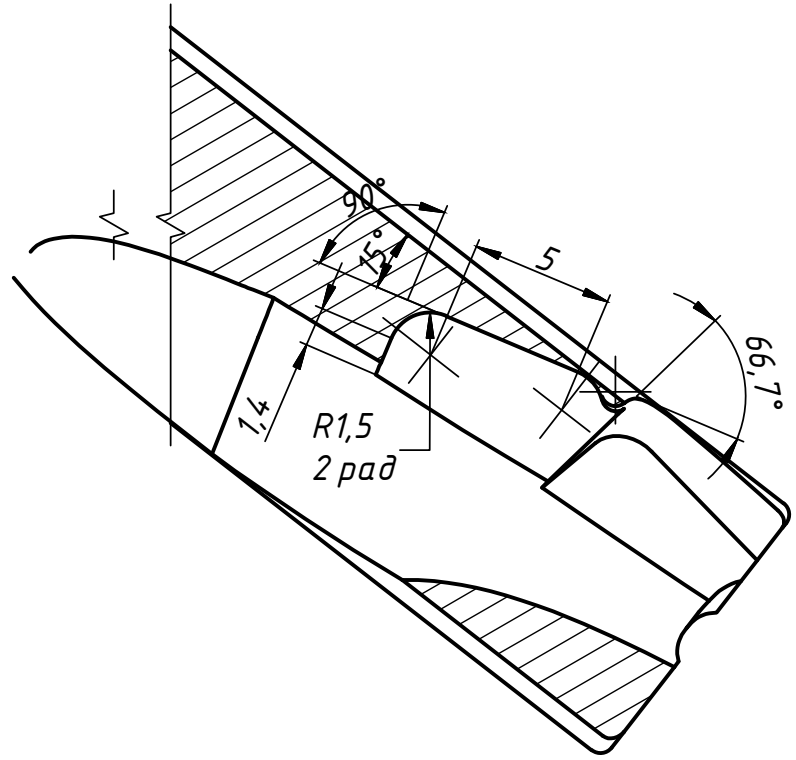
А

				ДП 6108.01.000 ТК					
				Аналіз існуючих конструкцій та рішень			Літ.	Маса	Масштаб
Зм. Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата					0,0	4 : 1
Розроб.	Лохман Д.І.		09.06.2020						
Перевір.	Івановський О.А.								
Т. контр.							Аркуш	Аркушів	1
Н. контр.							НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"		
Затв.									



ДП 6108.03.002

A-A (4:1)



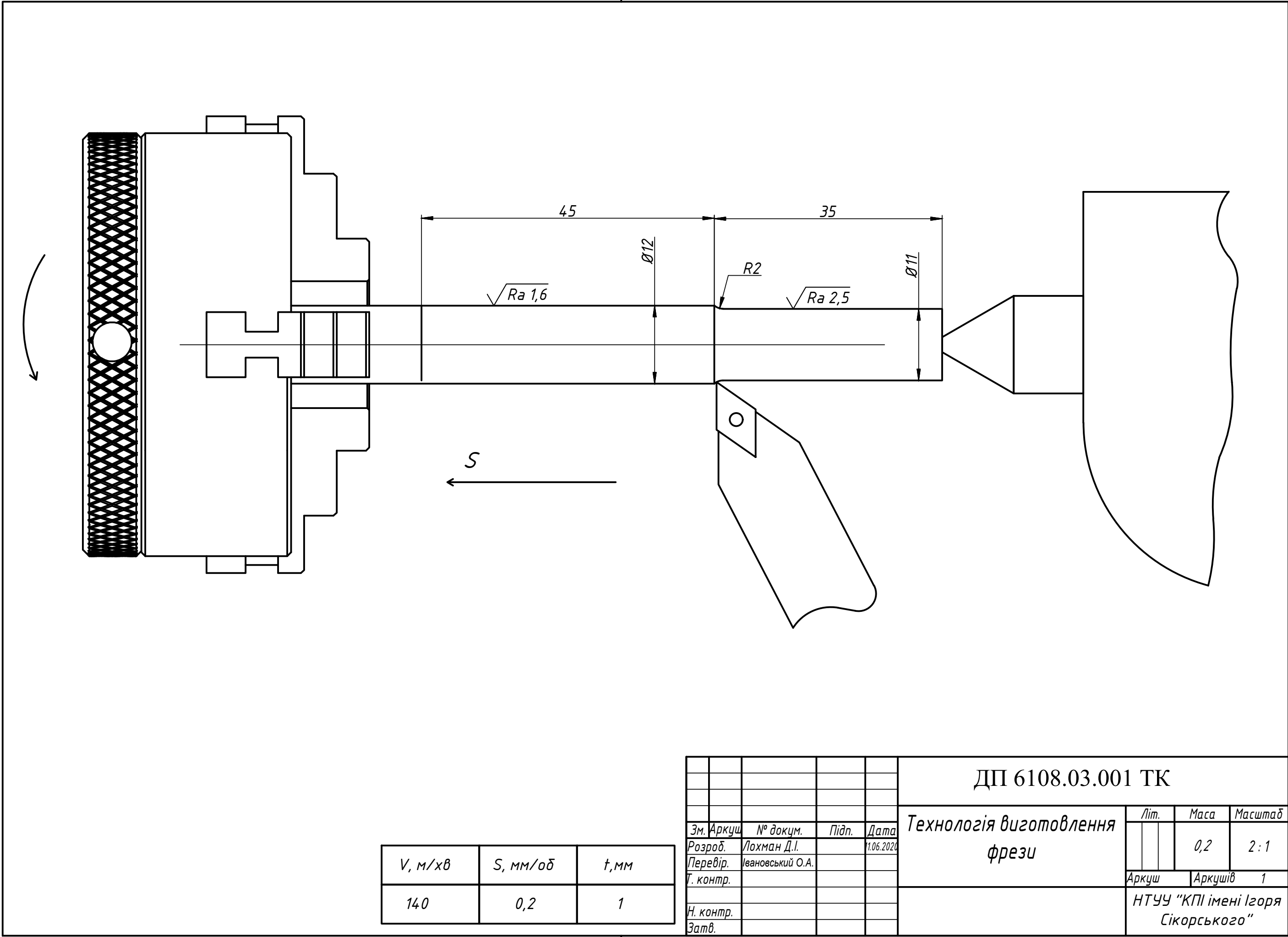
V_c , м/хв	a_p , мм	a_e , мм	f_z , мм/зуб
200	0,06	2	0,2

ДП 6108.03.001 ТК				Технологія виготовлення фрези		
Зм. Аркуш	№ док-м.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Лохман Д.І.		2.06.2022		0,2	2:1
Перевір.	Івановський О.А.					
Т. контр.				Аркуш	Аркушів	1
Н. контр.				НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"		
Затв.						

1 Копіював Формат А3

2 2

1 1



V , м/хв	S , мм/зб	t , мм
140	0,2	1

ДП 6108.03.001 ТК				Технологія виготовлення фрези		
Зм. Аркуш	№ док-м.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Лохман Д.І.		2.06.2022		0,2	2:1
Перевір.	Івановський О.А.					
Т. контр.				Аркуш	Аркушів	1
Н. контр.				НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"		
Затв.						

1 Копіював Формат А3

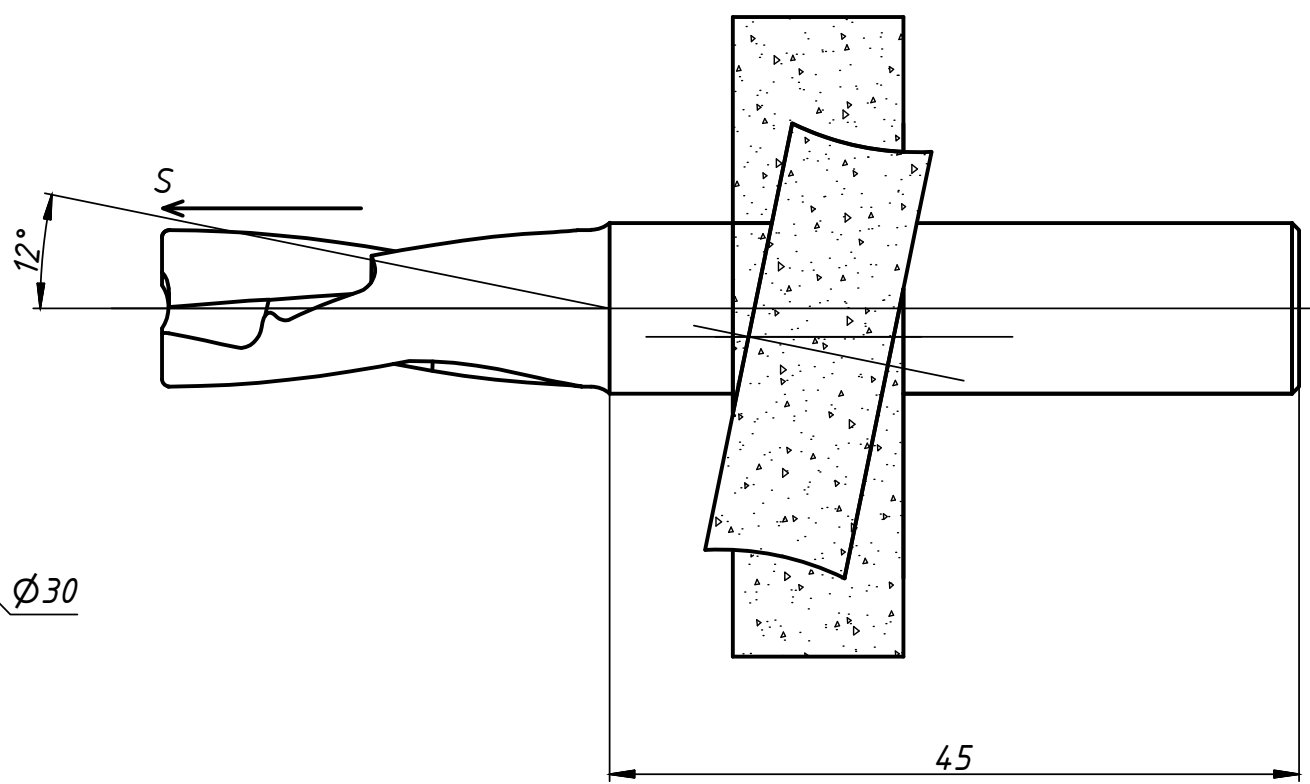
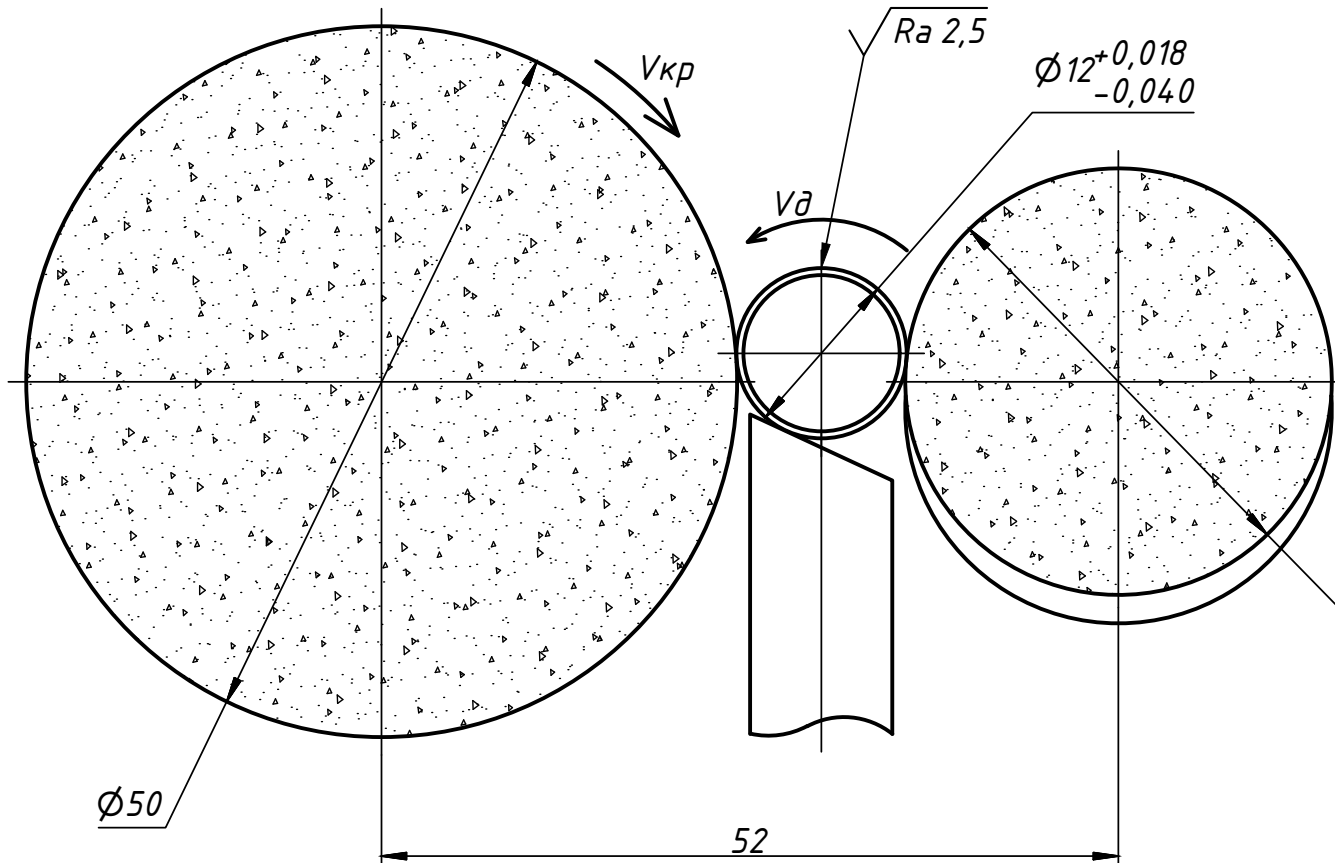
2 2

1 1

A A

A A

ДП 6108.03.002



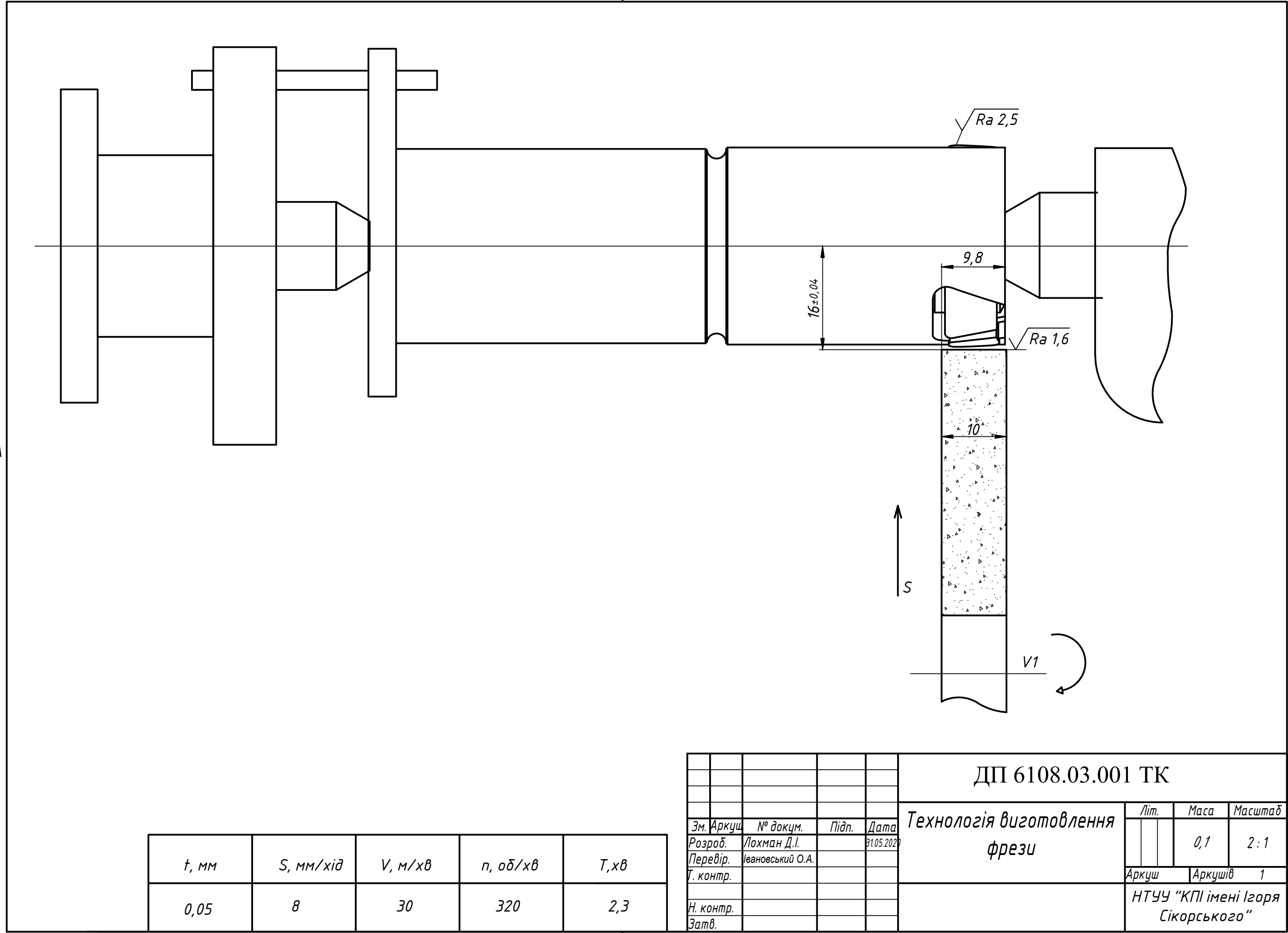
$V_{кр}$, м/с	V_d , м/с	S , мм/хв	$S_{чис.}$, мм/хв
32	25	0,3	0,08

ДП 6108.03.001 ТК				Технологія виготовлення фрези		
Зм. Аркуш	№ док-м.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Лохман Д.І.		2.06.2022		0,1	2:1
Перевір.	Івановський О.А.					
Т. контр.				Аркуш	Аркушів	1
Н. контр.				НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"		
Затв.						

1 Копіював Формат А3

2 2

1 1



t , мм	S , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T , хв
0,05	8	30	320	2,3

ДП 6108.03.001 ТК				Технологія виготовлення фрези		
Зм. Аркуш	№ док-м.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Лохман Д.І.		2.06.2022		0,1	2:1
Перевір.	Івановський О.А.					
Т. контр.				Аркуш	Аркушів	1
Н. контр.				НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"		
Затв.						

1 Копіював Формат А3

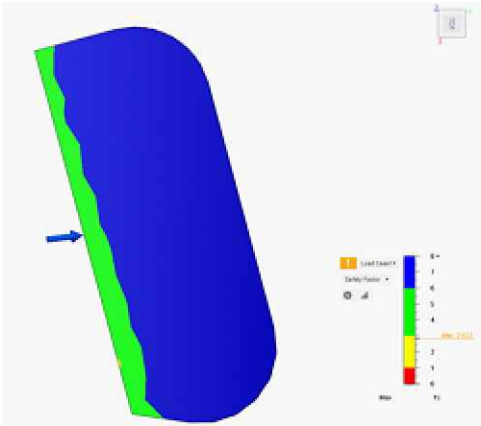
2 2

1 1

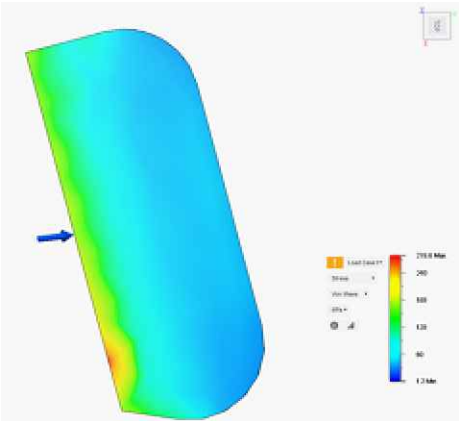
A A

A A

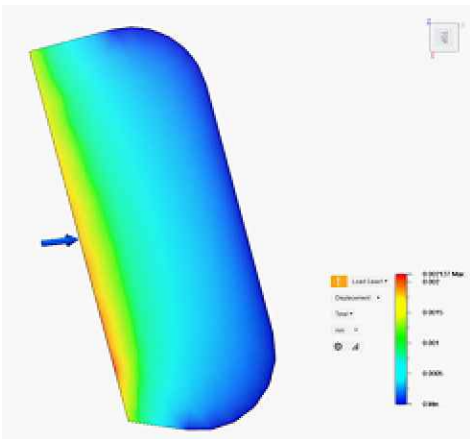
Розподіл коефіцієнту запасу



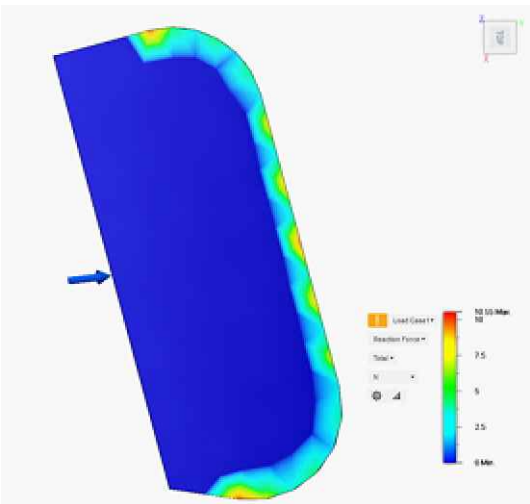
Розподіл навантажень



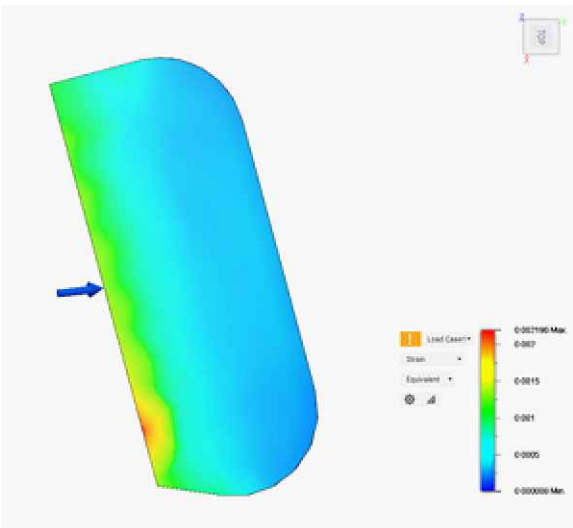
Деформації



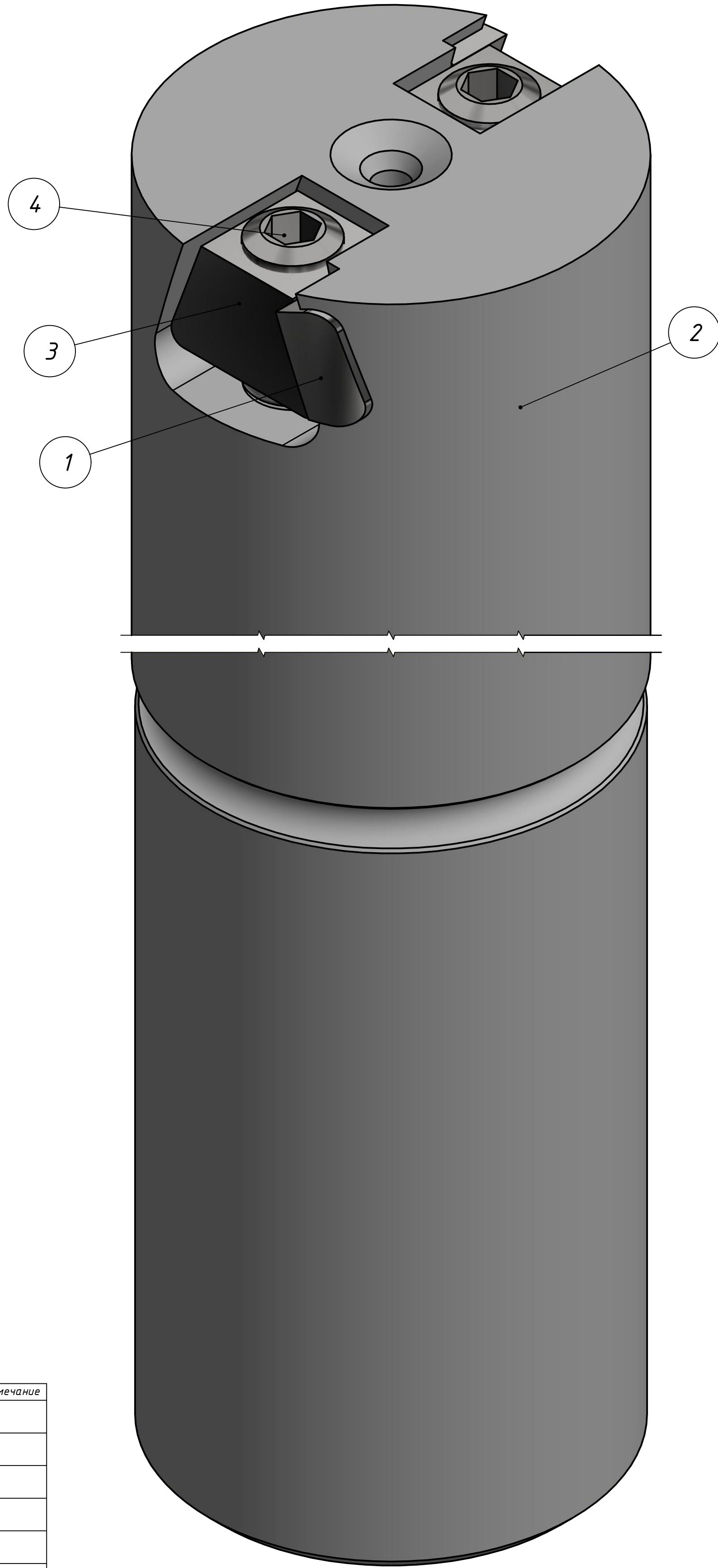
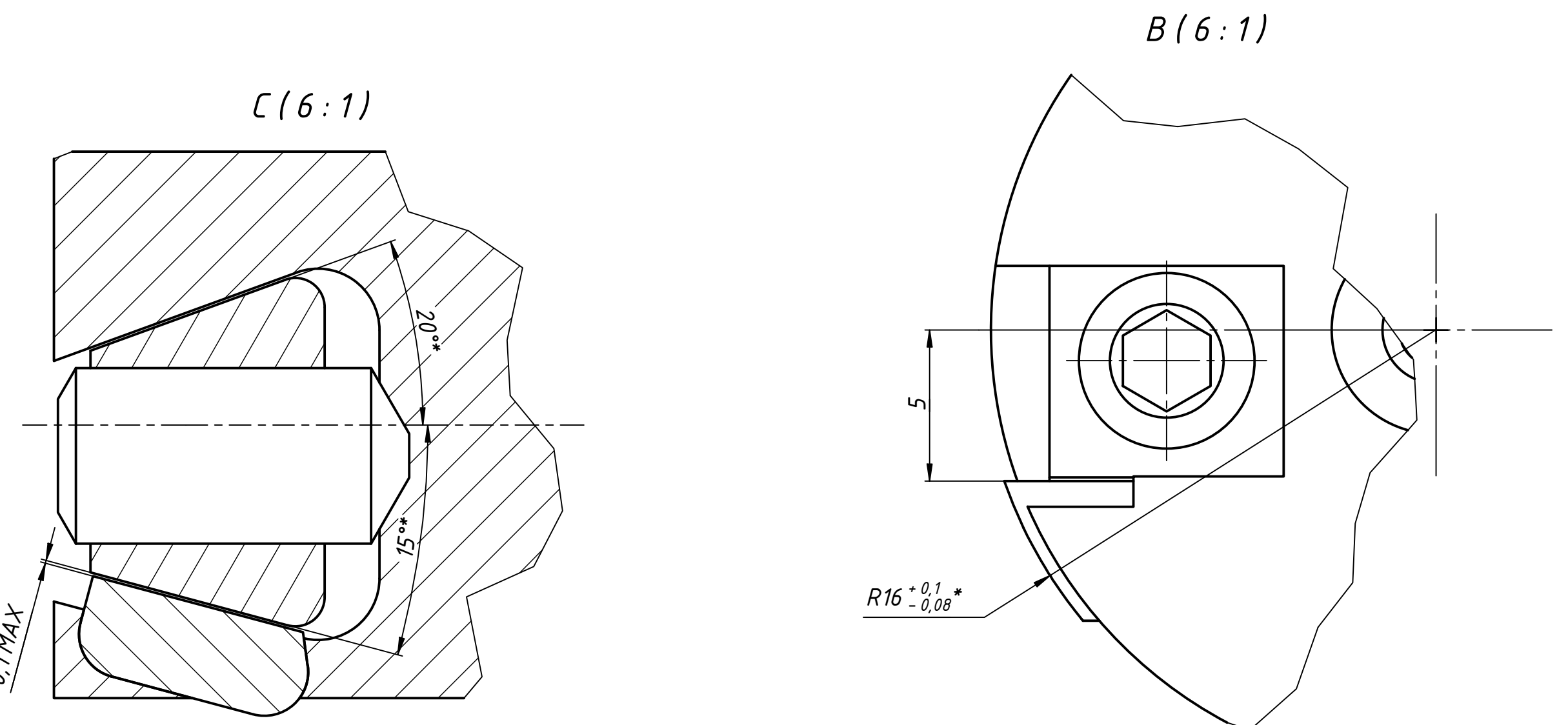
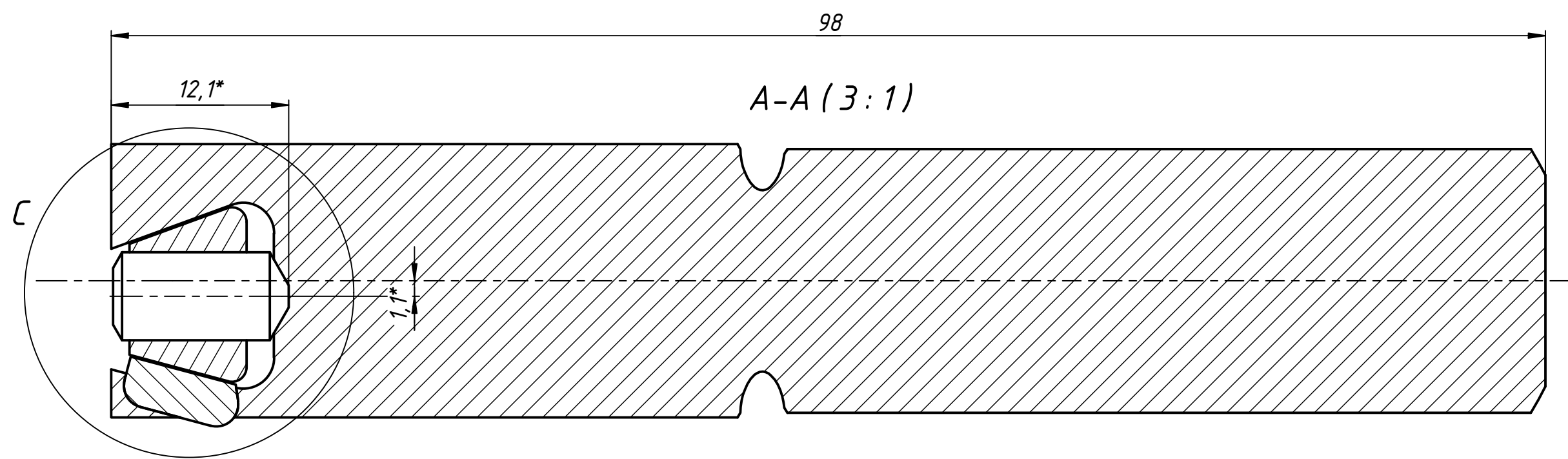
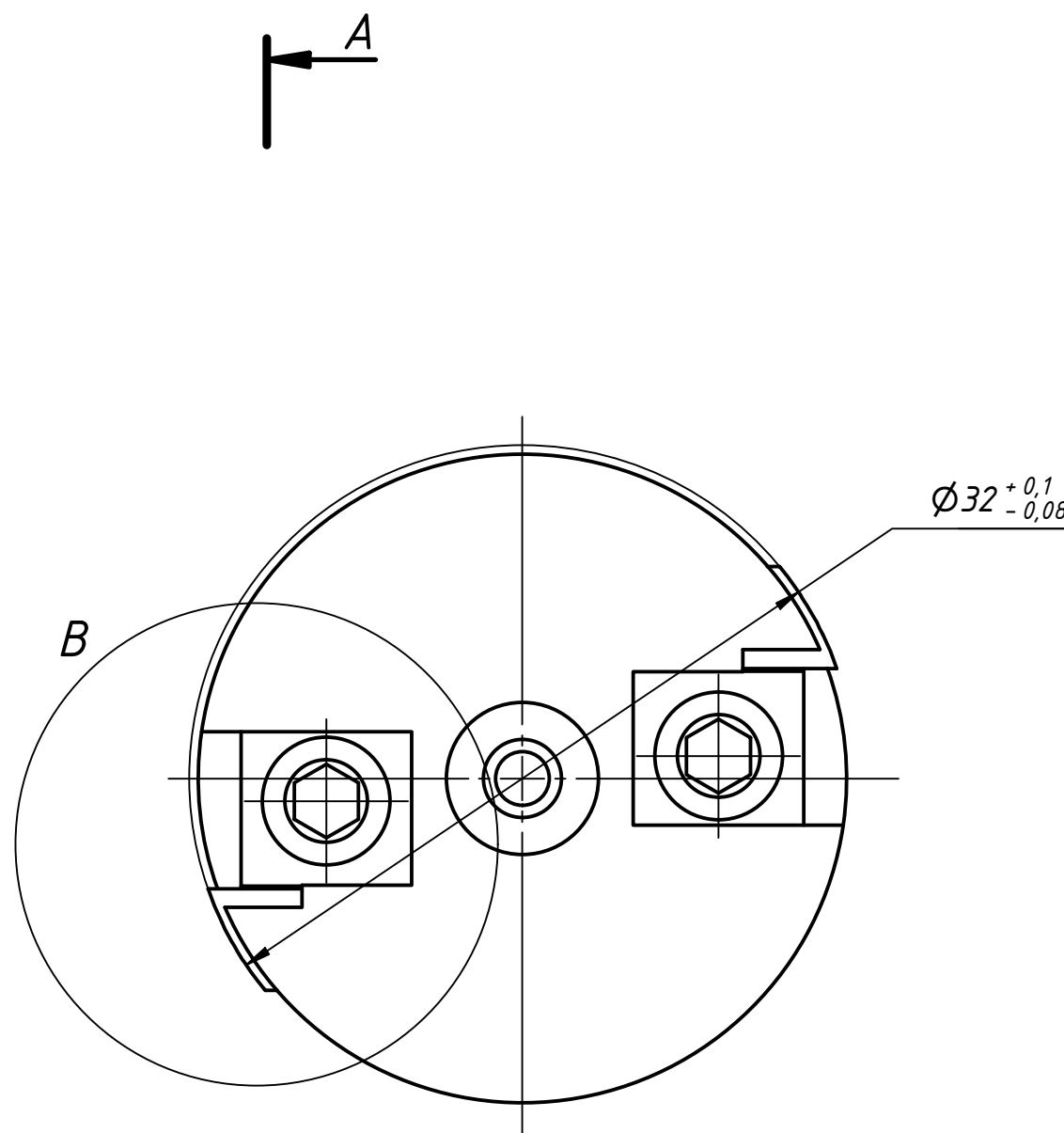
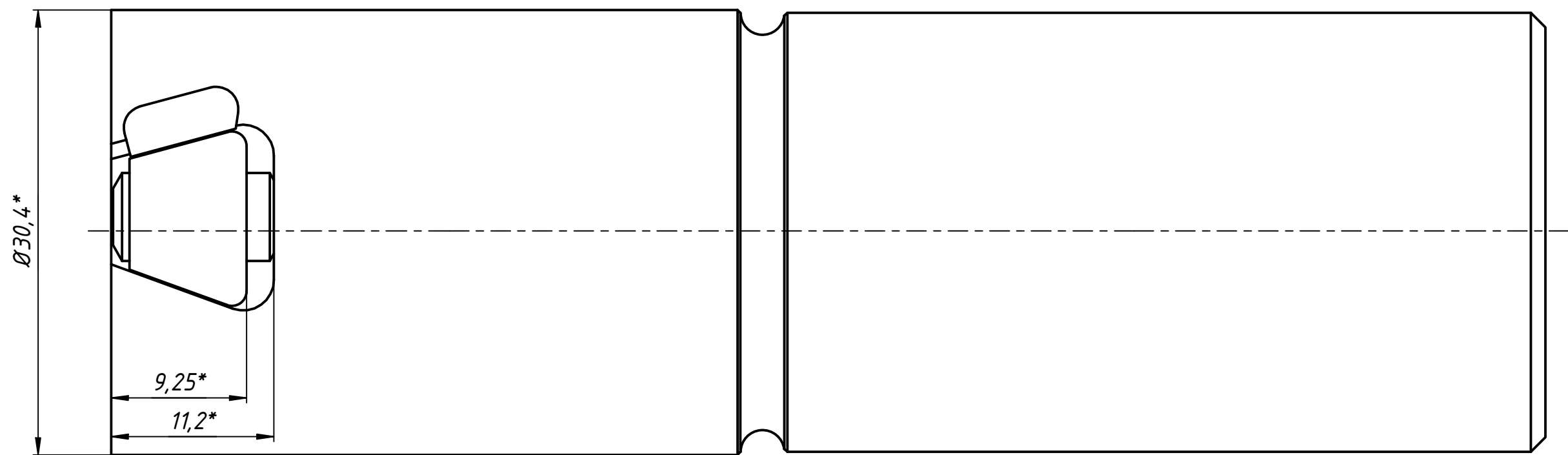
Реакція опори



Розподіл напружень



Result Summary		
Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	2.822	15
Stress		
Von Mises	1.182 MPa	278.6 MPa
1st Principal	-16.62 MPa	95.84 MPa
3rd Principal	-266.7 MPa	24.31 MPa
Normal XX	-69.41 MPa	28.62 MPa
Normal YY	-176.4 MPa	45.28 MPa
Normal ZZ	-90.05 MPa	75.76 MPa
Shear XY	-56.19 MPa	35.37 MPa
Shear YZ	-29.99 MPa	139.8 MPa
Shear ZX	-17.5 MPa	19.28 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.002127 mm
X	-1.773E-04 mm	2.141E-04 mm
Y	-1.136E-04 mm	0.001989 mm
Z	-3.046E-05 mm	7.951E-04 mm
Reaction Force		
Total	0 N	10.55 N
X	-5.684 N	5.713 N
Y	-9.876 N	2.846 N
Z	-2.464 N	3.929 N
Strain		
Equivalent	7.959E-06	0.002196
1st Principal	1.82E-06	0.001611
3rd Principal	-0.002151	-4.72E-06
Normal XX	-1.336E-04	1.966E-04
Normal YY	-6.994E-04	8.884E-05
Normal ZZ	-1.676E-04	3.237E-04
Shear XY	-7.221E-04	4.545E-04
Shear YZ	-3.854E-04	0.001796
Shear ZX	-2.249E-04	2.477E-04



1. *Розміри для довідки.
2. Сила затяжки гвинтів – 9 Нм.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
			Пристосування для обробки	Складальний кресленник	1	
			задньої поверхні пластинки			
				Детали		
			1	Пластика	2	
			2	Корпус	1	
			3	Клин	2	
				Стандартные изделия		
			4	CSN 02 1191 - M6 x 12	2	

				ДП МІ-61-1.05.008 ТК		
Зм. Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	Пристосування для шліфування пластин		
Розроб.	Лохман Д.І.		31.05.2020			
Перевір.	Івановський О.А.			Літ.		
Т. контр.				Маса		
Н. контр.				Масштаб		
Затв.				Літ.		
				0,1		
				5:1		
				Аркуш		
				Аркушів		
				1		
				НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"		
				Формат А1		

Керуюча програма - G-code

Операція №1
Підрізання торця

Налаштування

```
; %_N_1001228_MPF
N10 G90 G94 G18
N11 G71
N12 LIMS=6000
N13 G53 G0 X0.

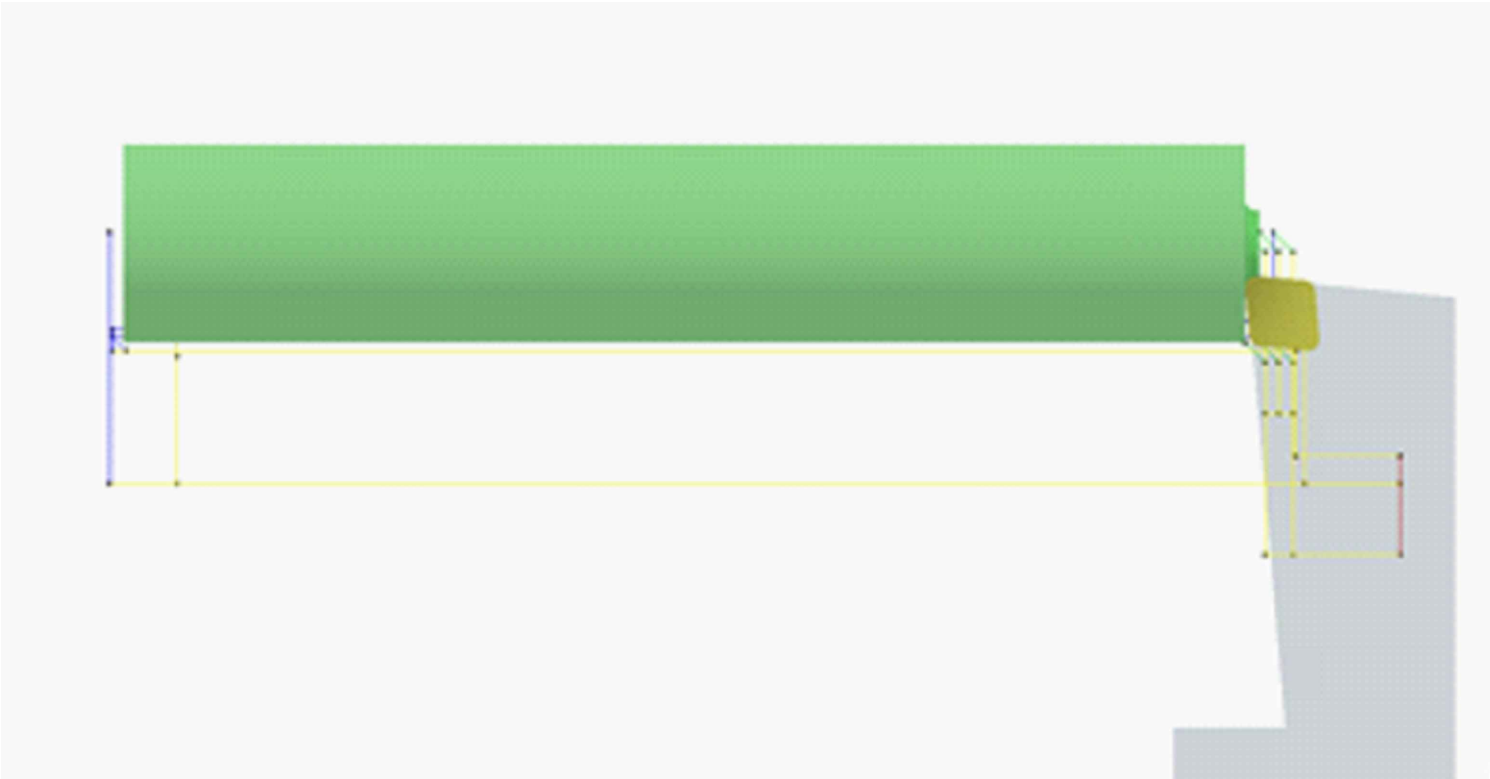
; Face1
N14 T2 D1
N15 G54
N16 M8
N17 G95
N18 G97 S662 M3
N19 G0 X44. Z11
N20 G96 S91 M3
N21 LIMS=6000
N22 G0 Z3.414
N23 X24.
N24 G1 X16.828 F0.127
N25 X14. Z2
N26 X-1.6
N27 X1.228 Z3.414
N28 G0 X24.
N29 Z2.414
N30 G1 X16.828 F0.127
N31 X14. Z1
N32 X-1.6
N33 X1.228 Z2.414
N34 G0 X24.
N35 Z1.414
N36 G1 X16.828 F0.127
N37 X14. Z0
N38 X-1.6
N39 X1.228 Z1.414
N40 G0 X44.
N41 Z11
N42 G97 S662 M3

; Profile Roughing2
N43 G95
N44 G97 S970 M3
N45 G0 X30. Z11
N46 G96 S91 M3
N47 LIMS=6000
N48 G0 Z3.6
N49 X13.2
N50 G1 Z-80.3 F0.127
N51 X15.2
N52 G0 Z3.6
N53 X11.2
N54 G1 Z-30.977 F0.127
N55 G18 G2 X12.2 Z-31.899 I1.1
N56 G1 Z-80.3
N57 X13.2
N58 X15.2 Z-79.3
N59 G0 Z3.6
N60 X30.
N61 Z11
N62 G97 S970 M3
N63 M9
N64 G53 X0.

; Profile Finishing2
N65 M1
N66 T3 D1
N67 G54
N68 M8
N69 G95
N70 G97 S856 M3
N71 G0 X34. Z11
N72 G96 S91 M3
N73 LIMS=5000
N74 G0 Z4.214
N75 X13.828
N76 G1 X11. Z2.8 F0.127
N77 Z-30.377
N78 G18 G2 X12. Z-31.622 I1.8
N79 G1 Z-75.7
N80 X16.
N81 G0 X34.
N82 Z11
N83 G97 S856 M3
N84 M9
N85 G53 X0.

; Part1
N86 M1
N87 T1 D1
N88 G54
N89 M8
N90 G95
N91 G97 S856 M3
N92 G0 X34. Z11
N93 G96 S91 M3
N94 LIMS=6000
N95 G0 Z-80.5
N96 G1 X-1.6 F0.127
N97 X34.
N98 G0 Z11
N99 G97 S856 M3

N100 M9
N101 G53 X0.
N102 G53 Z0
N103 M30
```



Setup

WCS: #0

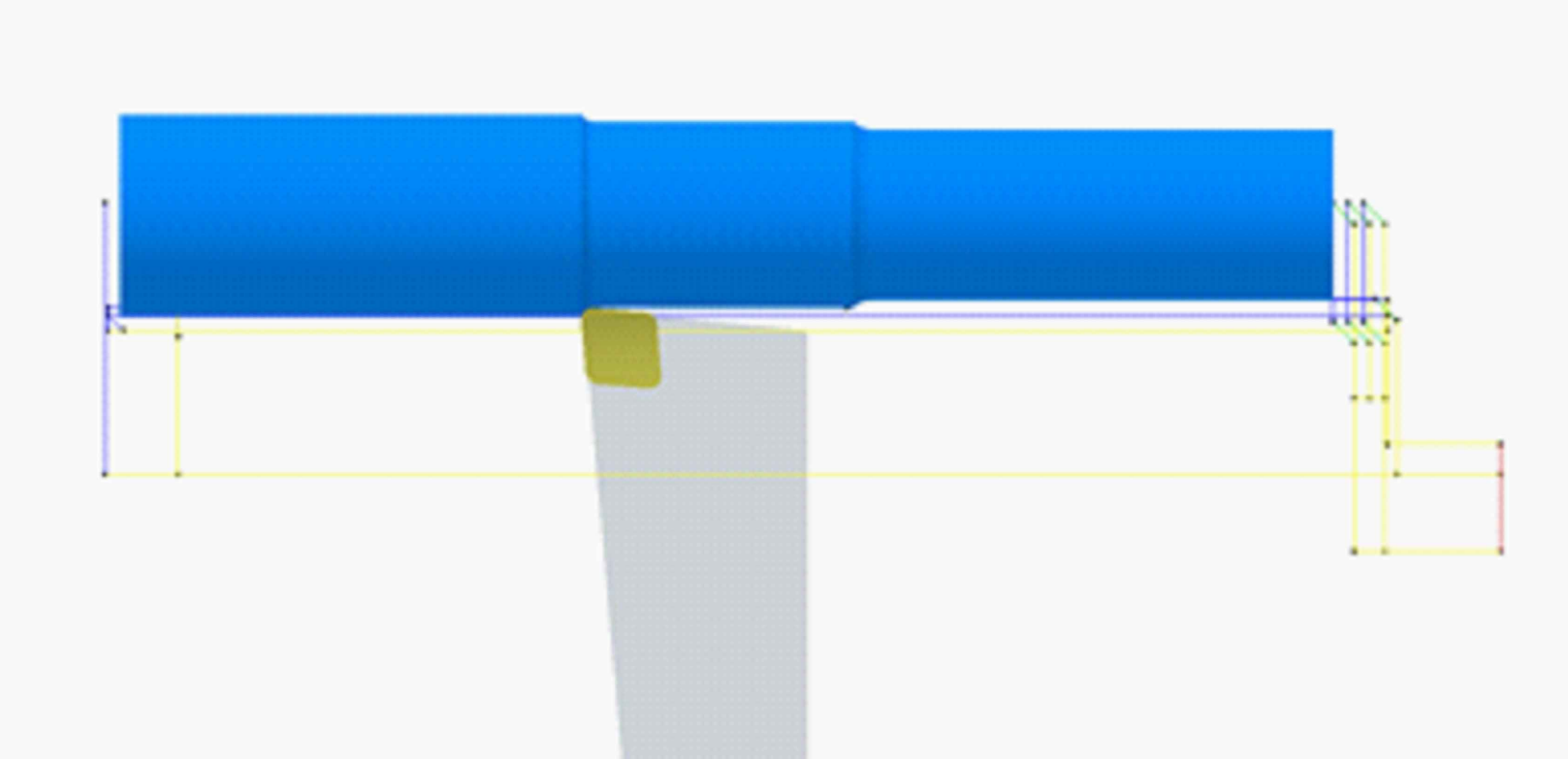
STOCK:
DX: 14mm
DY: 14mm
DZ: 82.5mm

PART:
DX: 12mm
DY: 12mm
DZ: 76.5mm

STOCK LOWER IN WCS #0:
X: -7mm
Y: -7mm
Z: -79.5mm

STOCK UPPER IN WCS #0:
X: 7mm
Y: 7mm
Z: 3mm

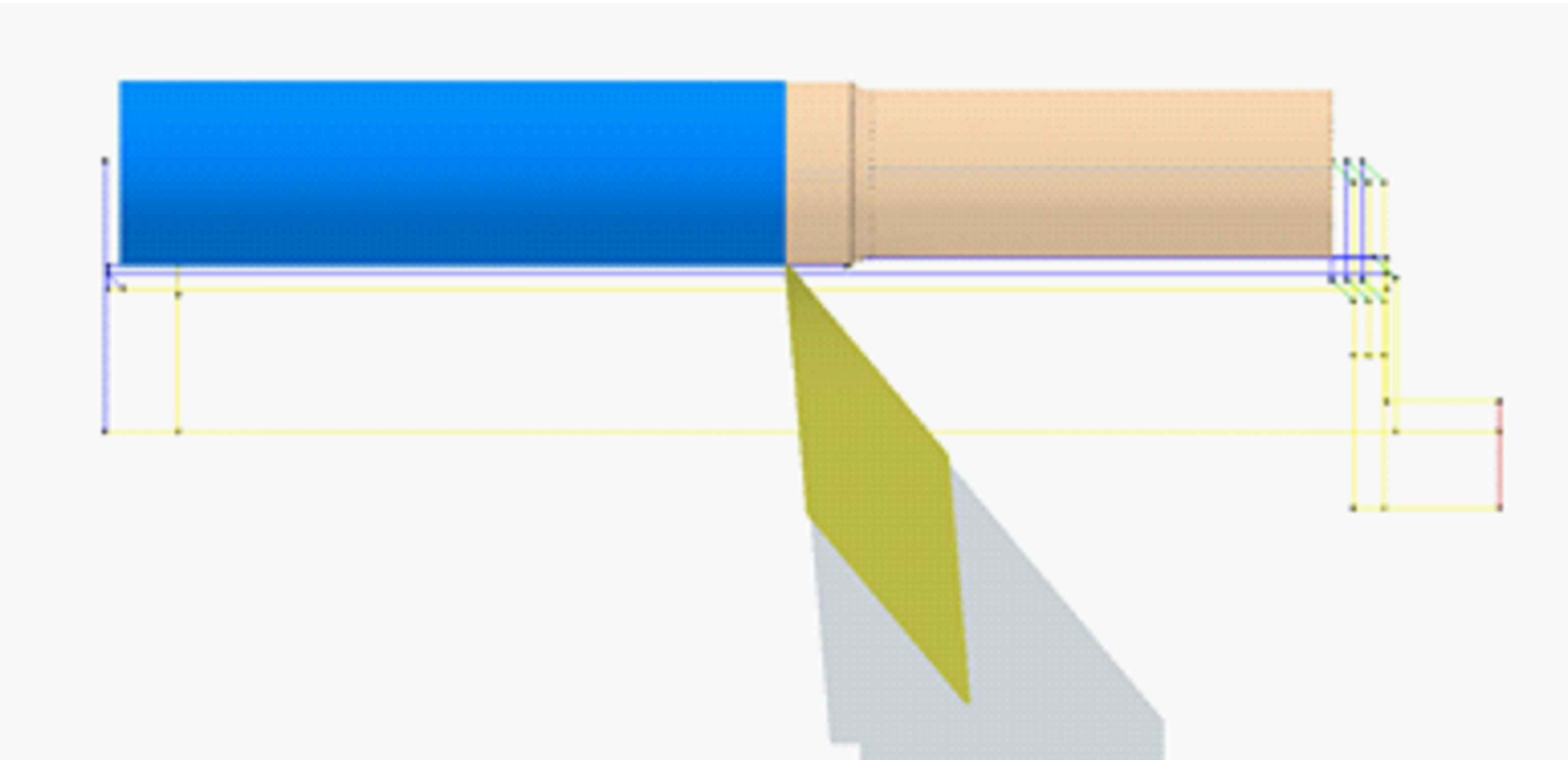
Операція №2
Чорнова токарна обробка



Звіт по керуючій програмі

Total
NUMBER OF OPERATIONS: 4
NUMBER OF TOOLS: 3
TOOLS: T1 T2 T3
MAXIMUM Z: 11mm
MINIMUM Z: -80.5mm
MAXIMUM FEEDRATE: 3009.128mm/min
MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm
CUTTING DISTANCE: 335.27mm
RAPID DISTANCE: 568.3mm
ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:1s

Операція №3
Чистова токарна обробка



Операції, режими та інструмент

Operations			
Operation 1/4		T2 D0	
DESCRIPTION: Face1	MAXIMUM Z: 11mm	TYPE: general turning	
STRATEGY: Turning Face	MINIMUM Z: 0mm	INSERT: ISO C 80deg	
WCS: #0	SURFACE SPEED: 91m/min	EDGE LENGTH: 5mm	
TOLERANCE: 0.01mm	FEEDRATE PER REV: 0.127mm	NOSE RADIUS: 0.8mm	
MAXIMUM STEPOVER: 1mm	CUTTING DISTANCE: 46.16mm	CROSS SECTION: T	
	RAPID DISTANCE: 73.33mm	TOLERANCE: M	
	ESTIMATED CYCLE TIME: 9s (7.5%)	RELIEF: N 0deg	
	COOLANT: Flood	COMPENSATION: Tip tangent	
		DESCRIPTION: CNMT Right Hand	
Operation 2/4		T2 D0	
DESCRIPTION: Profile Roughing2	MAXIMUM Z: 11mm	TYPE: general turning	
WCS: #0	MINIMUM Z: -80.3mm	INSERT: ISO C 80deg	
TOLERANCE: 0.01mm	SURFACE SPEED: 91m/min	EDGE LENGTH: 5mm	
MAXIMUM STEPOVER: 1.2mm	FEEDRATE PER REV: 0.127mm	NOSE RADIUS: 0.8mm	
	CUTTING DISTANCE: 170.89mm	CROSS SECTION: T	
	RAPID DISTANCE: 199.4mm	TOLERANCE: M	
	ESTIMATED CYCLE TIME: 37s (30.8%)	RELIEF: N 0deg	
	COOLANT: Flood	COMPENSATION: Tip tangent	
		DESCRIPTION: CNMT Right Hand	
Operation 3/4		T3 D0	
DESCRIPTION: Profile Finishing2	MAXIMUM Z: 11mm	TYPE: general turning	
WCS: #0	MINIMUM Z: -75.7mm	INSERT: ISO V 35deg	
TOLERANCE: 0.01mm	SURFACE SPEED: 91m/min	EDGE LENGTH: 16.89mm	
MAXIMUM STEPOVER: 1mm	FEEDRATE PER REV: 0.127mm	NOSE RADIUS: 0.2mm	
	CUTTING DISTANCE: 82.63mm	CROSS SECTION: T	
	RAPID DISTANCE: 112.57mm	TOLERANCE: M	
	ESTIMATED CYCLE TIME: 17s (14.1%)	RELIEF: N 0deg	
	COOLANT: Flood	COMPENSATION: Tip tangent	
		DESCRIPTION: VNMT Right Hand	
Operation 4/4		T1 D0	
DESCRIPTION: Part1	MAXIMUM Z: 11mm	TYPE: groove turning	
STRATEGY: Turning Part	MINIMUM Z: -80.5mm	INSERT: Square	
WCS: #0	SURFACE SPEED: 91m/min	WIDTH: 4mm	
TOLERANCE: 0.01mm	FEEDRATE PER REV: 0.127mm	NOSE RADIUS: 0.8mm	
	CUTTING DISTANCE: 35.6mm	COMPENSATION: Tip	
	RAPID DISTANCE: 183mm	DESCRIPTION: OD Grooving	
	ESTIMATED CYCLE TIME: 12s (10.3%)		
	COOLANT: Flood		

Операція №4
Відрізання заготовки

